

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Hodnocení vlivu rychlosti zatěžování u PP desek s přírodními plnivý

Evaluation rate of stressing for PP plates with natural fillers

Michal Gajdošík

KSP - TP - 816

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU v *Liberci*
Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D. – TU v *Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	78
Počet tabulek	4
Počet příloh	1
Počet obrázků	95
Počet vzorců	9

Datum: 5. 6. 2009

Originální zadání diplomové práce

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Michal Gajdošík

Téma práce: Hodnocení vlivu rychlosti zatěžování u PP desek s přírodními plnivý
Evaluation of impact loading for PP boards with natural fillers

Číslo DP: KSP - TP - 816

Vedoucí DP: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU v *Liberci*

Konzultant: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D. – *TU v Liberci*

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu rychlosti zatěžování na chování desek z PP s přírodními plnivý. Cílem práce je provést tahovou zkoušku na dodaných materiálech LoPreFin a analýzu vlivu rozdílných rychlostí zatěžování a směru odebrání vzorků včetně monitorizace deformace pomocí systému Aramis při tahové zkoušce.

Abstract:

Diploma work deals with the evaluation of the impact loading on the behaviour of the PP plates with the natural fillers. The aim of this work is realising the tensile test of the materials supplied LoPreFin and the analyses of the influence of different loading speeds and directions of sampling the analysed parts, including the deformation monitoring by means of the Aramis system, on the tensile test results.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. června 2009

.....
Michal Gajdošík
Přepěře 95
512 61 Přepěře

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval především svému vedoucími prof. Dr. Ing. Petrovi Lenfeldovi a konzultantovi Ing. Jiřímu Sobotkovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce. Také děkuji firmě R+S Technik za dodané materiály.



Obsah

1. ÚVOD.....	10
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1. POLYMERNÍ MATERIÁLY	12
2.1.1. <i>Rozdělení, struktura polymerních materiálů.....</i>	<i>12</i>
2.2. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	14
2.2.1. <i>Definice a dělení kompozitních materiálů</i>	<i>15</i>
2.2.2. <i>Kompozity s polymerní matricí a vláknitou výztuží.....</i>	<i>18</i>
2.3. VYUŽITÍ A VLASTNOSTI POLYPROPYLENU	21
2.4. VYUŽITÍ PŘÍRODNÍCH VLÁKEN V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	24
2.5. VLASTNOSTI MATERIÁLU LoPREFin	26
2.3. MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	30
2.3.1. <i>Viskoelastické chování polymerů.....</i>	<i>30</i>
2.3.2. <i>Zkoušky mechanických vlastností polymerů</i>	<i>36</i>
2.3.3. <i>Tahová zkouška.....</i>	<i>37</i>
3. PRAKTICKÁ ČÁST	39
3.1. ZKOUŠENÝ MATERIÁL LoPREFin	39
3.2. VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	40
3.3. REALIZACE TAHOVÉ ZKOUŠKY	46
3.4. BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ DEFORMACE SYSTÉMEM ARAMIS	47
3.4.1. <i>Charakteristika systému Aramis</i>	<i>47</i>
3.4.2. <i>Princip měření systémem Aramis.....</i>	<i>48</i>
3.5. VÝSLEDKY MĚŘENÍ	50
3.5.1. <i>Výsledky měření materiálu č. I.....</i>	<i>50</i>
3.5.2. <i>Výsledky měření materiálu č. II</i>	<i>54</i>
3.5.3. <i>Výsledky měření materiálu č. III.....</i>	<i>58</i>
3.5.4. <i>Výsledky měření materiálu č. IV</i>	<i>62</i>
3.5.5. <i>Porovnání meze pevnosti jednotlivých materiálů</i>	<i>67</i>
3.5.6. <i>Velikosti deformací zkoušených materiálů.....</i>	<i>70</i>
4. DISKUSE VÝSLEDKŮ.....	74



5. ZÁVĚR	75
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
7. SEZNAM PŘÍLOH.....	77



SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_{80}	tažnost	[-]
E_t	modul pružnosti v tahu	[N/mm ²]
F	naměřená hodnota síly	[N]
G	modul pružnosti ve smyku	[MPa]
G_r	relaxační modul pružnosti	[MPa]
L_0	počáteční měřená délka	[mm]
PE	polyetylen	
PES	polyester	
PEHD	vysokohustotní polyetylen	
PP	polypropylen	
S_0	plocha průřezu zkušebního tělesa	[mm ²]
t	čas	[s]
t_r	relaxační doba	[s]
T_f	teplota vizkozního toku	[°C]
T_g	teplota zesklnění	[°C]
T_m	teplota tání polymerního materiálu	[°C]
v	rychlost deformace	[s ⁻¹]
V_f	objemový podíl vláken	[%]
V_m	objemový podíl matrice	[%]
V_v	objemový podíl vakancí	[%]
W_f	hmotnostní podíl	[%]
x_s	střední aritmetický průměr	[-]
γ_0	deformace těsně před zrušením vnějšího napětí	[-]
γ_1	Hookova pružná deformace	[-]
γ_2	zpožděně elastická deformace	[-]
γ_3	plastická trvalá deformace	[-]
γ	deformace tělesa [-]	[-]
γ_c	celková deformace	[-]
ΔL_0	zvětšení délky zkušebního tělesa	[mm]
ε	hodnota poměrného prodloužení	[-]



η	dynamická viskozita	[Pa·s]
σ	hodnota tahového napětí	[MPa]
σ_f	napětí vlákna v osovém směru	[MPa]
σ_{f0}	napětí na konci vlákna	[MPa]
σ_{SH}	horní mez kluzu	[MPa]
σ_{SS}	spodní mez kluzu	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]
$\frac{d\gamma}{dt}$	rychlost smykové deformace	[s ⁻¹]



1. ÚVOD

Každý z nás je denně obklopen celou řadou technických materiálů, které jsou využívány ve strojírenských oborech. Mezi ty nejvýznamnější patří kovové materiály. Avšak z časových závislostí vývoje materiálového trhu vyplývá, že zhruba od 70. let se začínají prosazovat materiály na bázi polymerů, přičemž výroba kovových materiálů stagnuje nebo se dokonce nepatrně snižuje.

Polymery patří mezi moderní konstrukční materiály, jejich sortiment se neustále rozšiřuje díky výrobě stále nových polymerů, popřípadě modifikací dosavadních polymerů. Je to dáno jejich velmi širokou použitelností pro technické i netechnické aplikace. Původně se plasty používaly na nenáročné aplikace a měly nahrazovat přírodní materiály jako vlnu, přírodní pryskyřici apod., přičemž v dnešní době se stále více prosazují, jako konstrukční materiály a pro kovy mohou vytvářet v mnoha případech konkurenci.

Jedním z cílů použití plastů ve strojním inženýrství je nahrazovat kovy a využívat jejich výhod. Polymerní materiály se vyznačují malou měrnou hmotností, odolností vůči korozi, zpravidla jsou elektrickými i tepelnými izolanty a v některých případech mohou splňovat určité optické požadavky, tlumit rázy a vibrace. Na vlastní výrobu plastů, tak i na jejich zpracování je nutno vynaložit mnohem méně energie než u kovů. Díky výtečné tvářitelnosti plastů je možné sdružovat v jeden díl několik funkčních součástí, které by se v případě kovů musely vyrábět samostatně. Vzhledem k nízkým hodnotám meze kluzu nebo pevnosti, modulu pružnosti i lomové houževnatosti plastů přesto existují aplikace, u kterých bychom se bez použití kovových materiálů neobešli. Avšak díky polymerním směsím, kopolymerům a přísadám lze přizpůsobit vlastnosti materiálu požadavkům, které jsou kladeny na určitý druh výrobku. Tím lze docílit zvýšení pevnosti, tuhosti, snížení křehkosti při nízkých teplotách, zlepšení odolnosti proti povětrnostním a chemickým vlivům, ale i například zvýšení tvarové stálosti při vyšších teplotách a odolnosti proti hoření.

V praxi se používají čisté typy, tzv. neplněné plasty, kde množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice a plasty plněné, kompozity. Plniva mohou mít buď charakter vyztužující (ve formě kratších nebo delších vláken, jejich přítomnost ovlivňuje houževnatost a mechanické vlastnosti, které se zvyšují) nebo nevyztužující, které mohou zvýšit tvrdost a modul pružnosti, ale houževnatost, tažnost a pevnost se může snížit.



Použití kompozitních materiálů s polymerní matricí má v současné době významné postavení mezi konstrukčními materiály. Svým spektrem vlastností se vyrovnají tradičním materiálům a v mnohých ohledech je dokonce předčí. Jsou použitelné i při výrobě nosných prvků konstrukcí, a tedy „nejnadějnějšími“ kandidáty pro náhradu kovů a jiných tradičních materiálů v konstrukčních aplikacích. Velmi výhodný je také poměr mechanických charakteristik k hustotě. O největší pokrok v konstrukčním využití kompozitů se zasloužil letecký a kosmický průmysl. Kompozity nemají jen širokou využitelnost, ale přináší i významné materiálové úspory. Pro ilustraci, v ČR je odhadována spotřeba nejrůznějších typů dlouhvláknových kompozitů na 2–3 tisíce tun ročně, většinou ve formě ručně kladených laminátových polotovarů. Přesto, že u nás spotřeba každým rokem stoupá, tak v USA je stále zhruba 15x větší.

Při konstruování výrobků z plastů je nutné uvažovat existenci časově závislé elastické deformace. V závislosti na době namáhání se materiál může chovat jako tuhý nebo jako poddajný. S relaxačními jevy je nutno počítat např. při návrhu západkových spojení. Podobně jako u jiných materiálů jsou vlastnosti plastů závislé na teplotě a v určitých oblastech se mohou měnit skokem. Při zpracování kompozitů vzniká např. orientace, což se projevuje anizotropií vlastností, která má za následek např. vzrůst pevnosti a modulu pružnosti ve směru orientace a opačně pro směr kolmý na směr orientace, změna hodnot smrštění, vliv na hodnoty teplotní roztažnosti, apod.

Obečným trendem při vývoji plastů určených pro konstrukční aplikace je stále zlepšování mechanických charakteristik, lomové houževnatosti, rozměrové stability, omezení nepříznivých důsledků viskoelastického chování a v neposlední řadě vývoj a výzkum recyklačních postupů a tím minimalizování dopadů na životní prostředí.

Z tohoto důvodu byla zadána tato diplomová práce, která se zabývá hodnocením vlivu deformační rychlosti na chování desek, plněných přírodními vlákny s PP matricí.

2. TEORETICKÁ ČÁST

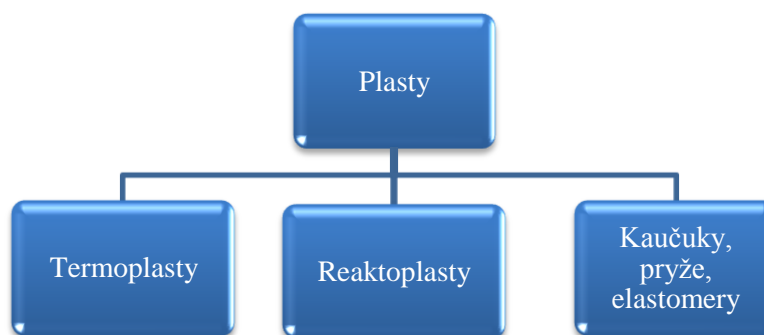
V teoretické části se zabývám charakteristikou polymerů, jejich strukturou a základním rozdělením polymerů. Vlastnostmi a popisem kompozitních materiálů, využitím přírodních vláken a polypropylenu v automobilovém průmyslu, mechanickými vlastnostmi polymerů a popisem tahové zkoušky.

2.1. Polymerní materiály

Plasty jsou makromolekulární organické sloučeniny, za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Změna do požadovaného tvaru se provádí působením tepla, tlaku, popřípadě obou činitelů navzájem. Připravují se polyreakcemi, kdy spojením mnoha monomerních jednotek vzniká látka s novými vlastnostmi nazývána polymer. Důležitou složkou jsou tzv. příměsi (změkčovadla, maziva, plniva atd.), které často označují účel, za kterým se do makromolekulárních látek přidávají.

2.1.1. Rozdělení, struktura polymerních materiálů

Polymery je možné rozdělit dle různých hledisek. Jedno z nejzákladnějších dělení popisuje chování při zahřívání.



Obr. 2.1 : Rozdělení polymerů

Pokud je změna z plastického stavu do tuhého vratná, jedná se o *termoplasty*, u nichž se zahříváním chemická struktura plastu nemění a nastávají pouze změny fyzikální povahy.

U *reaktoplastů* při zahřívání k chemickým změnám dochází, proto odpad vznikající při zpracování nelze opětovně zpracovat, jako je tomu u termoplastu. Účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel se vytváří prostorově zesíťovaná struktura, která je pro reaktoplasty charakteristická. Tento děj se nazývá vytvrzování.

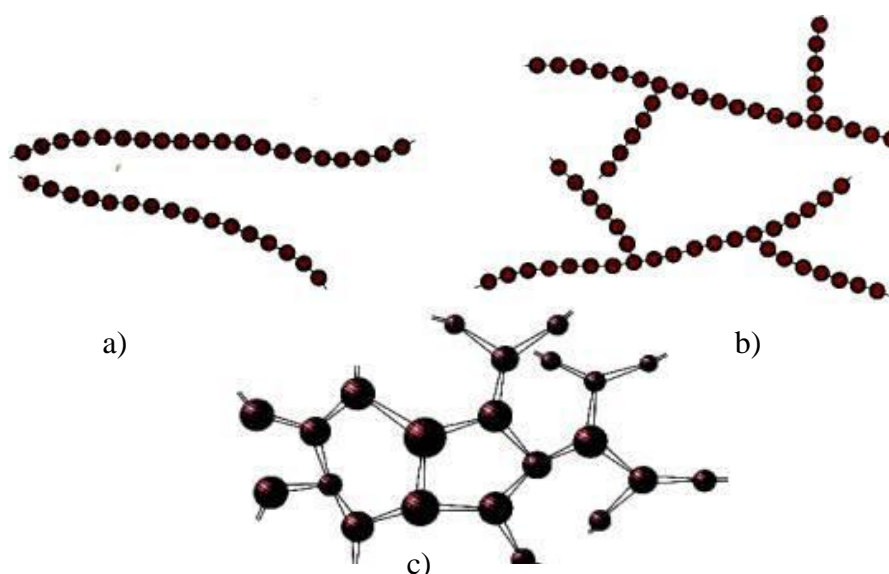
Kaučuk, pryže a elastomery lze omezenou dobu tvářet, jelikož v první fázi zahřívání měknou. Dalším zahříváním dochází k prostorovému zesíťování, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů, které jsou na bázi termoplastů lze proces měknutí a tuhnutí teoreticky opakovat do nekonečna, jelikož nedochází ke změnám chemické struktury. Jedná se o vysoce elastické materiály, které je možné malou silou deformovat, aniž by došlo k jejich porušení [1].

Vlastnosti polymeru jsou mimo jiné ovlivňovány tvarem, stavbou a uspořádaností makromolekul, což je další možné hledisko, jak polymery dělit.

Lineární makromolekuly (obr. 2.2a) vytvářejí jednoduchý řetězec. Monomery, které tvoří makromolekuly, jsou zde seřazeny za sebou. Z termodynamických důvodů nemají tvar nitky, ale zaujímají tvar, který přísluší maximální entropii. Polymery s takovýmto uspořádáním se vyznačují vyšší hustotou, dobrou zpracovatelností, vysokou houževnatostí v tuhém stavu a vyšším obsahem krystalických podílů.

Rozvětvené makromolekuly (obr. 2.2b) mají na základním řetězci napojeny krátké boční řetězce. Se zvyšujícím se počtem bočních řetězců se hustota stejně jako schopnost krystalizace snižuje.

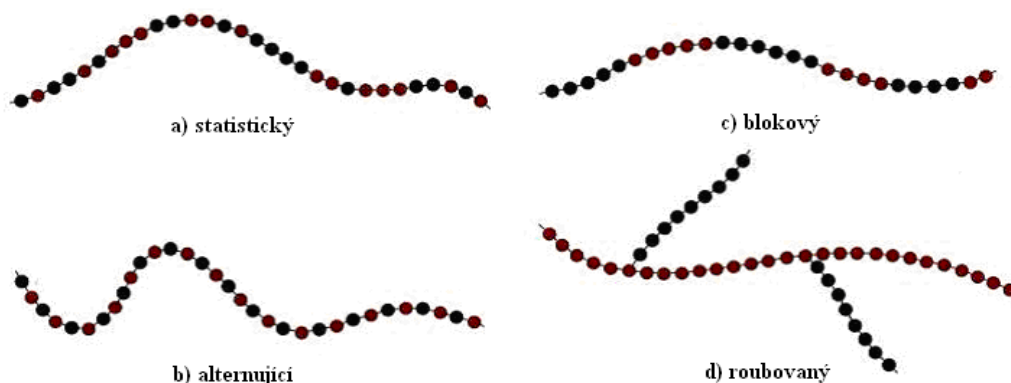
Zesíťované makromolekuly (obr. 2.2c) vytvářejí prostorovou síť, která vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Vlastnosti jsou závislé na hustotě sítě. Při vysoké hustotě je hmota tvrdá, dobře odolává účinkům vysokých teplot, avšak odolnost proti rázovému namáhání je poměrně nízká.



Obr. 2.2 : Struktura polymerů [8]

V případě, že makromolekuly polymeru vznikají z jednoho druhu monomeru, pak výsledný produkt nazýváme *homopolymer*.

Jestliže se tvorby účastní více než jeden druh monomeru, produkt se nazývá *kopolymer*. Různé struktury kopolymerů jsou znázorněny na obr. 2.3.



Obr. 2.3 : Struktura kopolymerů [8]

Polymery mohou dosahovat většího či menšího stupně uspořádanosti. Pokud makromolekuly zaujmají zcela nahodilou pozici, pak hovoříme o *amorfních* polymerech. U *semikrystalických* polymerů, které vykazují značnou uspořádanost makromolekul, lze určit tzv. stupeň krystalinity, který vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí uložených mezi oblastmi amorfními. Zvýšením krystalického podílu dojde ke zvýšení pevnosti, tuhosti, tvrdosti na úkor houževnatosti.

Až na výjimky se v praxi plasty jako čisté typy nepoužívají (samotné makromolekulární látky), ale téměř vždy obsahují přísady. Makromolekulární látka se v obecném smyslu nazývá matrice, zastává funkci pojiva a pak lze hovořit o tzv. kompozitních materiálech [2].

2.2 Kompozitní materiály

Význam kompozitních materiálů ve všech oblastech techniky neustále roste, což je důsledkem jejich výhodných vlastností [4]. Vhodným zastoupením jednotlivých složek lze vytvořit materiál s požadovanými vlastnostmi, např. nízkou hmotností zároveň vysokou pevností, tuhostí a rozměrovou stálostí. Jednou z hlavních charakteristik kompozitních materiálů je, že nikdy nejsou univerzální a jsou navrhovány pro konkrétní aplikace.

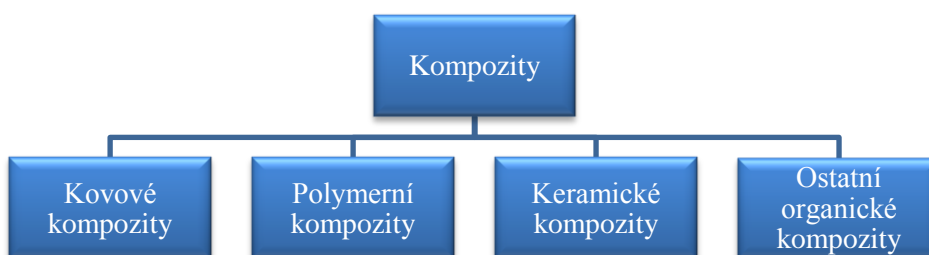
2.2.1. Definice a dělení kompozitních materiálů

Kompozitní materiál je složen ze dvou nebo více fází, z nichž je alespoň jedna pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou (fází) samostatně [5].

Obvykle je jedna fáze v kompozitu spojitá, taková fáze se nazývá matrice. Zajišťuje kompaktnost a tvarovatelnost. Nespojitá fáze je výztuž a zajišťuje výslednému materiálu požadovanou pevnost a tuhost [4]. Vlastnosti kompozitu jsou ovlivňovány typem matrice, vyztužující látky, objemovým zastoupením složek, jejich geometrii, uspořádaností, vzájemnou interakcí složek apod. Právě interakce jednotlivých fází a struktur přináší nové vlastnosti materiálu, kterých nemůže být dosaženo žádnou složkou samostatně.

Při rozšiřujících se možnostech kombinování složek, které kompozity vytvářejí, se stává jejich členění komplikované [5]. Kompozity se nejčastěji člení:

- a) podle materiálu matrice (obr. 2.4)



Obr. 2.4 : Rozdělení kompozitních materiálů dle matrice



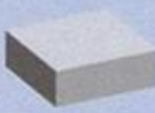


- b) podle druhu zpevňující fáze (obr. 2.5)



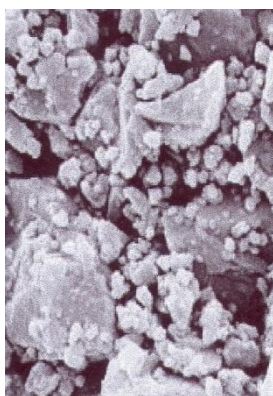
Obr. 2.5 : Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže

c) podle tvaru výztuže:

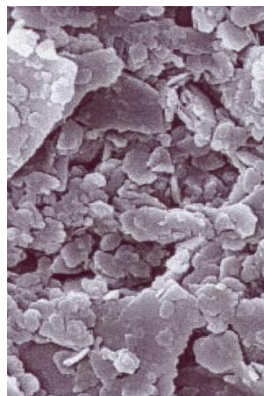
- *Jednodimensionální:* Rozměr v jednom směru je výrazně větší než ve směrech ostatních (vlákna).
- *Dvoudimensionální:* jeden rozměr útvaru plniva výrazně nepřesahuje rozměry ostatní (desky)
- *Třídimensionální:* Rozměry jsou zhruba stejné ve všech směrech (koule) [6].

					
Tvar	Koule	Kostka	Hranol	Desky	Vlákna
Příklady:	Skleněné kuličky Silikátové kuličky	CaCO_3 CaSO_4	SiO_2 BaSO_4	Slída Talek Kaolin Grafit	Skelná Azbestová Uhlíková Polymerní Konopná vlákna

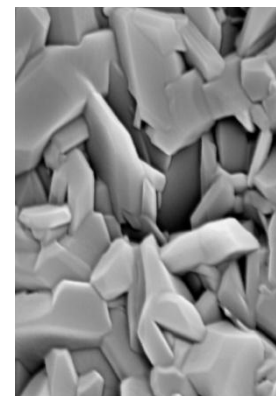
Obr. 2.6 : Tvary plniva [2]



CaCO_3



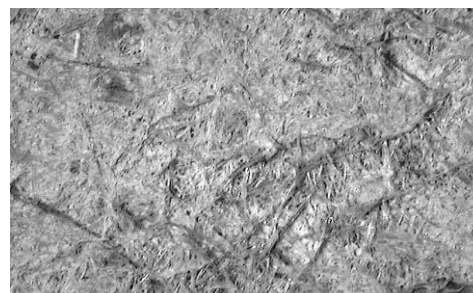
Kaolin



Talek



Dlouhá skelná vlákna

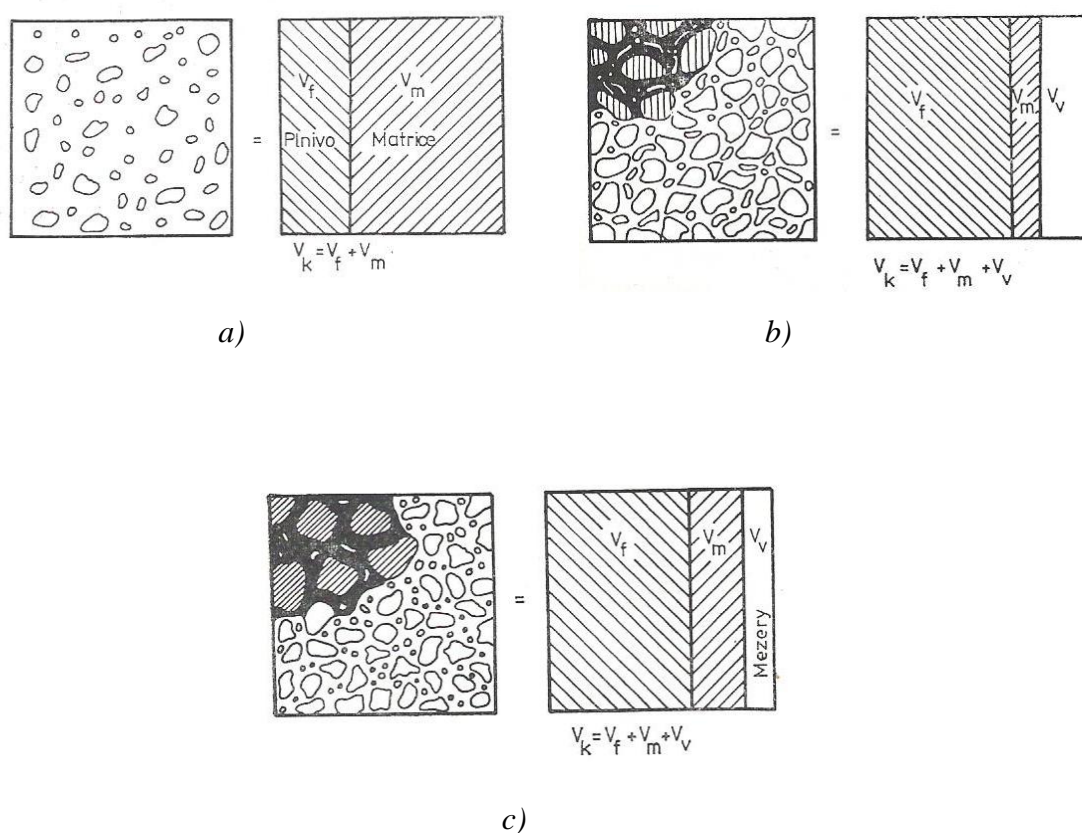


Len

Obr. 2.7 : Ukázky tvaru plniv [2]

d) Strukturní dělení

- *Kompozity I. typu:* Objem kompozitu je tvořen plnivem a matricí (obr. 2.8a).
- *Kompozity II. typu:* v matrici vznikají uzavřené póry a celkový poměr objemu tuhé fáze k objemu tělesa se zmenšuje (obr. 2.8b)
- *Kompozity III. typu:* pórovitost systému se stává spojitou a uplatňuje se interakce kompozitu s vnějším prostředím (obr. 2.8c) [5].



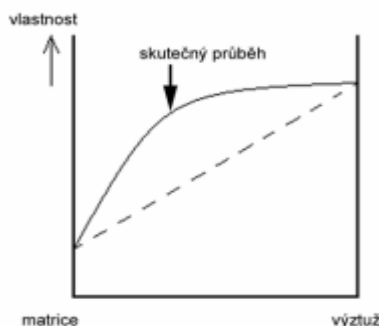
Obr 2.8 : Strukturní dělení kompozitů [5]

Kovové matrice se vyznačují dobrou tvárností a houževnatostí, elektrickou vodivostí. Nejvýznamnějšími zástupci jsou lehké slitiny hliníku hořčíku a titanu.

Pro *Polymerní matrice* je charakteristická nízká hustota, ale i nízká tepelná stabilita polymerů.

Keramické matrice jsou lehké, většinou velmi tvrdé, ale poměrně křehké. Kompozity s keramickými matricemi patří mezi vysoko teplotní materiály.

Vlastnosti kompozitu jsou lepší, než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek, což se označuje jako synergické chování (obr. 2.9). Tím kompozit získává zcela nové vlastnosti [4].



Obr. 2.9 : Synergické chování složek kompozitu [8]

2.2.2. Kompozity s polymerní matricí a vláknitou výztuží

Největšího uplatnění dosahují kompozity s vláknitou výztuží a polymerním pojivem. Využitím předností vláknitých a současně polymerních materiálů získáme materiál o vysoké pevnosti, tuhosti při relativně nízké měrné hmotnosti a snadné zpracovatelnosti.

Vlákna využívaná pro kompozitní materiály mohou být bavlněná, konopná, borová, skleněná, uhlíková, beryliová, whiskery z keramických a metalických materiálů, polymerní, apod. K dispozici je široké spektrum vláknitých výztuží, v poslední době se využívají vlákna z obnovitelných zdrojů. Jedná se převážně o sisal, len, konopí, bavlnu, jutu. Jsou využívána jako levnější alternativa skleněných vláken při výrobě pevnostně méně náročných a přitom lehkých dílů v interiérech automobilů. Používají se ve formě pramenců, nití, netkaných materiálů [5,7].

Pro vlákna je charakteristické, že jejich pevnost v tahu je výrazně vyšší, než je pevnost stejného materiálu ve větším objemu (desky, tyče atd.). To je dáno tím, že materiál ve vláknité formě má mnohem dokonalejší strukturu s minimem vad a mikrotrhlin, orientovanou ve směru podélné osy vláken. Materiál v takovéto formě je pak schopen snášet větší deformace než materiál o větších rozměrech [8]. Vlákna nejsou připravovány jednotlivě, ale ve svazku, které se sdružují v pramenec s vysokým počtem vláken [7]. Namáháním pramence tahem nejsou všechna vlákna zatížena rovnoměrně a porušují se postupně, proto únosnost svazku není součtem pevností jednotlivých vláken a je nutné počítat s hodnotou nižší, v které je vyjádřen i

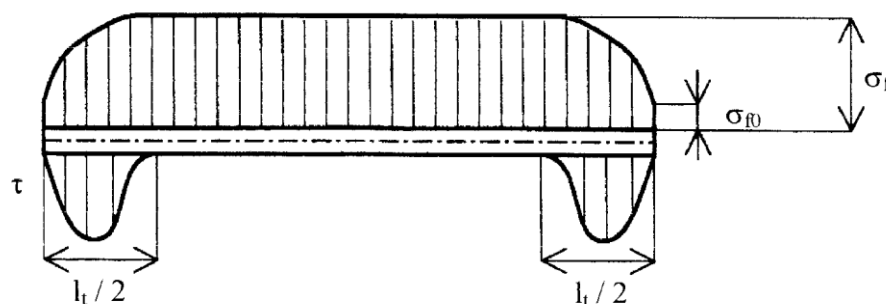
vliv prosycení svazku vláken matricí, což způsobuje rovnoměrnější namáhání jednotlivých vláken.

Pro matrice se používají termoreaktivní polymery jako epoxidové, polyesterové, fenolické a jiné reaktoplasty. V současné době se však rozvíjejí kompozity na bázi termoplastických matricí, jako polypropylenové, polyamidové, polyetylenové a jiné. Polymerní matrice v kompozitu zajišťuje monolitost materiálu a vytváří potřebný tvar součásti. Mají-li být vlastnosti kompozitu co nejlepší, musí matrice splňovat řadu funkcí a zároveň se její vlastnosti musí vzájemně doplňovat s výztuží.

Funkce matrice:

- spojuje vlákna v kompaktní celek,
- zprostředkovává přenos smykových napětí,
- chrání vlákna před vnějšími vlivy,
- přemostňuje trhliny na povrchu vláken,
- odděluje vlákna, tím zabraňuje spojitému šíření trhlín,
- zprostředkovává namáhání vlákna mezi nestejně zatíženými vlákny,
- vytváří povrch výrobku, zakrývá texture tkaniny či pramenců [5].

V kompozitech nepůsobí namáhání přímo na vlákna, nýbrž se přenáší z matrice do vláken smykovým napětím, které není po celé délce vlákna rovnoměrné. U konců dostatečně dlouhých vláken vznikají špičky těchto napětí a ve střední části vláken je jejich namáhání do značné míry rovnoměrné. U krátkovláknových kompozitů nemohou být účinky konců zanedbány a vlastnosti kompozitů jsou funkcí délky vlákna. Proto je výhodné používat kompozity s dlouhými vlákny a tím minimalizovat počet napětíových špiček [8].

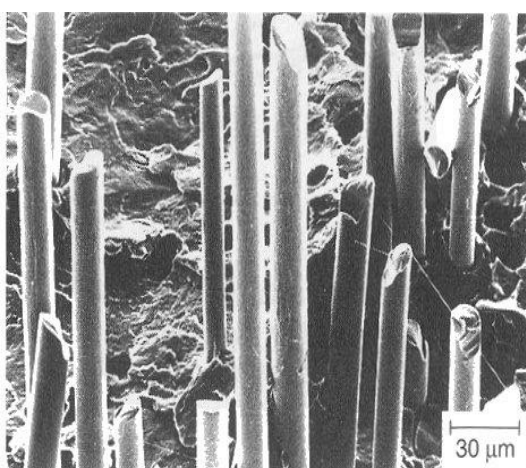
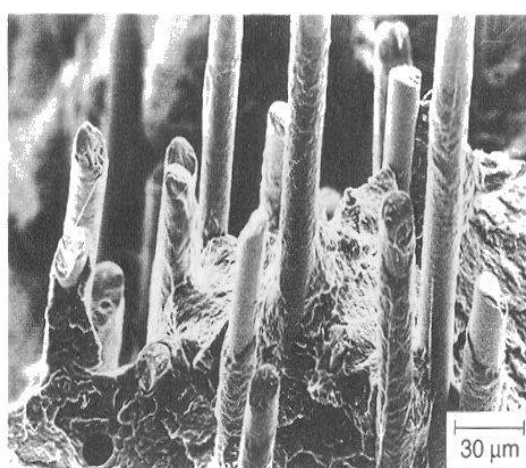


Obr 2.10 : Průběh normálového a smykového napětí po délce vlákna [8]

σ_f - napětí vlákna v osovém směru, σ_{f0} - napětí na konci vlákna

τ - smykové napětí na rozhraní válcové vlákno – matrice

Na vlastnosti kompozitu má velký vliv kvalita styku mezi vlákny a matricí. Aby byla plně využita pevnost vláken, musí se zabezpečit dobrá adheze mezi vlákny a matricí, tím dokonalý přenos síly z matrice na výztuž. Podmínkou adhezního spojení je, aby celý povrch vláken byl smáčen matricí a tím bylo zajištěno co nejlepší spojení. Právě smáčení je nezbytnou podmínkou pro přípravu moderních vláknových kompozitů s různými druhy vláken a matricí. Je třeba zamezit vzniku vzduchových bublin, které jsou příčinou vzniku lomu. Kromě velikosti povrchové energie, adheze závisí i na viskozitě polymeru, přičemž je výhodnější nižší viskozita [5]. Hydrofilní plniva adhezi zhoršují, a proto je u takovýchto plniv nutné odstranit zbytky povrchové vody. Dále také platí, že smáčející polymer by měl mít podstatně nižší povrchovou energii než plnivo a přidání amorfního podílu k semikrystalickým termoplastickým kompozitům přilnavost zvýší. Vláknům se na povrchu chemicky upravují, aby na rozhraní mezi matricí a vláknem vytvořily pevné chemické vazby. Obsahuje-li povrch plniva funkční skupiny např. – OH skupiny, lze spojit matrici s vláknem pomocí vazebních činidel, která se nanášejí na vlákna, nebo přidávají do matrice. Vazební činidlo by mělo vytvořit kovalentní nebo velmi silnou vodíkovou vazbu s tuhou fází a umožnit smáčení matrice [6]. Soudržnost mezi matricí a vlákny lze ovlivňovat i řadou dalších vlivů např. polymerační smrštění, které adhezi zvyšuje. Dosáhnout nejpevnějšího spojení však není vždy nejvýhodnější, vede totiž k větší citlivosti k vrubům, nižší houževnatosti a únavové pevnosti kompozitů.

*špatná adheze**dobrá adheze**Obr. 2.11 : Porušení spoje kompozitu se skelnými vlákny[3]*

Vlastnosti kompozitních materiálů silně závisí na směru uložení (orientaci) vláken. Vznik nechtěné orientace je jedním z hlavních problémů výroby kompozitů. Naopak zamýšlená orientace je jedna z největších výhod při návrhu kompozitu. Výztuž, která je uložena v kompozitu v jednom směru způsobuje, že materiál v tomto směru nabývá vysoké pevnosti a tuhosti, naopak ve směru kolmém k vláknům o vlastnostech kompozitu rozhodují vlastnosti matrice a proto jsou hodnoty pevnosti, tuhosti výrazně nižší. Matrice jako polymerní materiál vyznačuje tzv. reologické chování, tj., její pevnost a deformace je závislá na namáhání a čase.

Výhodné vlastnosti mají tzv. hybridní kompozity, které mají jednotlivé vrstvy vyztuženy vlákny z různých materiálů. Tím lze dosáhnout požadovaného poměru některých vlastností. Výroba takovýchto kompozitů se od obvyčejných v podstatě neliší a platí zde stejné zásady.

Při navrhování určitého kompozitu je třeba řešit velké množství problémů. Je snaha zachovat po výrobě původní vlastnosti složek, aby byly využívány pouze jejich výhody a potlačovány nedostatky [5].

Nejčastěji používaným polymerem v automobilovém průmyslu je polypropylen, který je i matricí u zkoušených desek. Hlavně z těchto důvodů se budu v dalším textu věnovat vlastnostem PP.

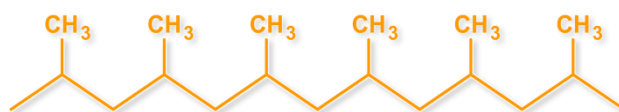
2.3 Využití a vlastnosti polypropylenu

Polypropylen (PP) je jeden z nejdůležitějších termoplastických materiálů, patří do skupiny polyolefinů. Je semikrystalický, středně pevný, tuhý a houževnatý materiál s hustotou 904 - 910 kg/m³, je to vůbec nejlehčí kompaktní polymer. Vyrábí se stereospecifickou polymerací. Dobře odolává kyselinám, zásadám a za normální teploty organickým rozpouštědly. Přítomnost methylové skupiny (CH₃) způsobuje, že teplota tání a pevnost je větší než u polyethylénu (PE) [2].

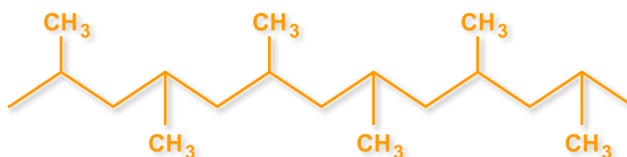


Obr. 2.12 : Základní struktura polypropylenu [8]

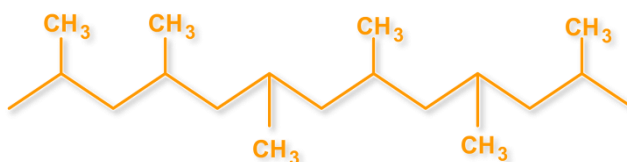
V závislosti na prostorovém uspořádání methylových skupin k hlavnímu řetězci, lze dělit PP na izotaktický, syndiotaktický a ataktický (obr. 2.13) [9].



Izotaktický polypropylén



Syndiotaktický polypropylén



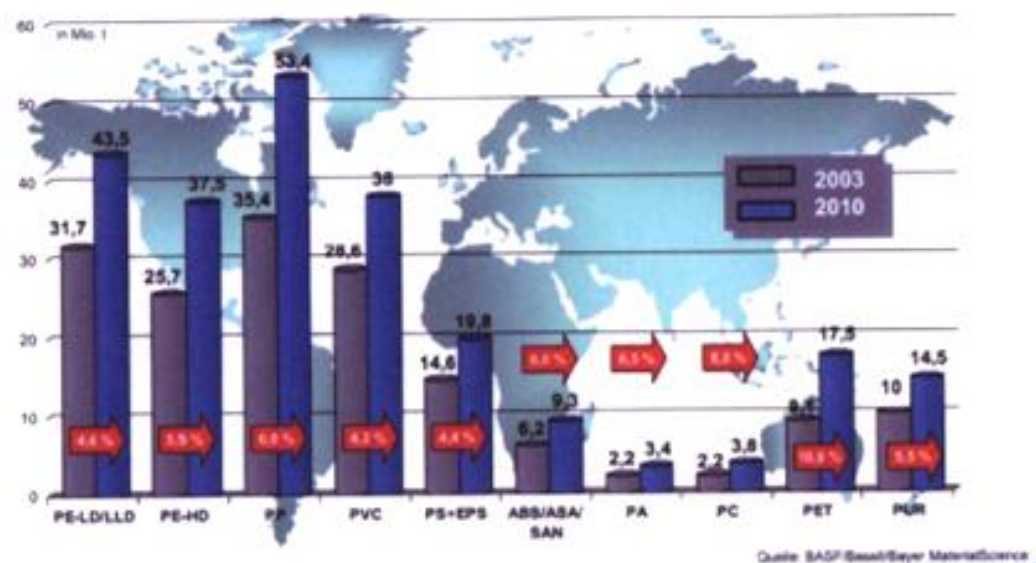
Ataktický polypropylén

Obr. 2.13 : Molekulární struktura polypropylenu [8]

Vyšší uspořádanost makromolekul vede k vzrůstu stupně krystalinity, pevnosti, tvrdosti a teploty tavení. Podíl izotaktické složky v izotaktickém PP však není 100%, vždy je ve struktuře ataktický podíl, který lze však potlačit katalyzátorem. Poté výsledná struktura obsahuje kolem 1% ataktické složky. Syndiotaktický PP je vysoce průzračný, má vysokou houževnatost. Ataktický PP je pružný a měkký. V podstatě se jedná o odpadový produkt, ale lze ho použít na plastické tmely popřípadě jako elastomerní součást v PP kopolymerech [3].

Polypropylén neodolává slunečnímu záření. Molekulová hmotnost se vlivem oxidace snižuje, což se projevuje zhoršením vlastností. Proto je před zpracováním nutná stabilizace, která se provádí sazemi nebo jinými stabilizátory [10].

Díky kopolymerům a kompozitům, s kterými je možné zvyšovat užité vlastnosti, rozšiřovat použitelnost a snižovat cenu polypropylenu, jeho spotřeba stále narůstá a s ní i použitelnost v automobilovém průmyslu.



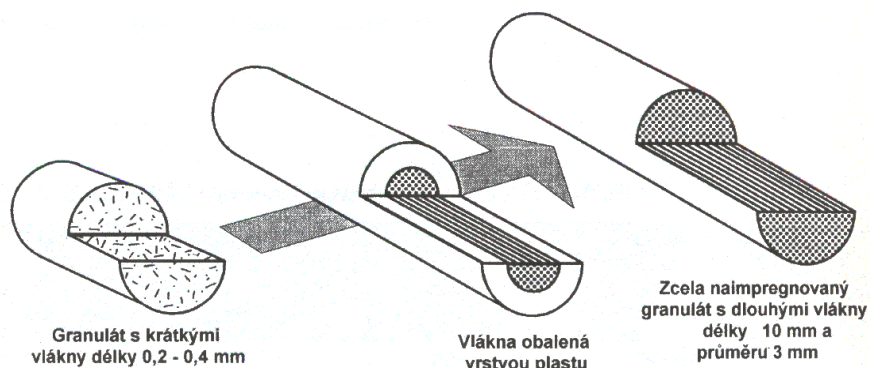
Obr. 2.14 : Celosvětová spotřeba vybraných plastů v roce 2003 a jejich prognóza [3]

V automobilech je možné nalézt řadu aplikací, kde je polypropylen nebo jiné polymery využity. Důvodem je úspora hmotnosti, aniž by tím byly ovlivněny bezpečnostní aspekty, větší možnosti tvarování a designu. V současnosti je v průměrném automobilu asi 750 dílů z plastu.

Z polypropylenu se například vyrábí substráty pro panely vnitřní strany dveří, loketní opěrky, přístrojové desky, kryty volantu. Automobilka Mazda vyrábí předních i zadních nárazníky z PP pomocí plynového vstřikování do formy. Chrysler používá PP pro výrobu konzoly podlahy ve svých vozech, která má menší hmotnost, lepší akustické vlastnosti a nižší cenu než jiné materiály pro konzoly podlahy. Kopolymery PP s vyšším modulem pružnosti se používají pro kryty nárazníků bez zesíleného nosníku, nebo je možné použít PP s nižší hodnotou modulu pružnosti a s pěnou, která pohlcuje energii. Polypropylen je často směšován s pryží EPDM, pak má větší odolnost proti nárazům a lépe tlumí hluk. Tato směs se používá pro potahování nárazníků, volantů, pouzder světel a spoilerů.

Přidá-li se do polypropylenu (PP) výztuž ve formě vláken, získáme materiál, s kterým je možné překonat různá konstrukční omezení, která provází tradiční materiály a vytvářet výrobky zcela novými vlastnostmi [3]. Na obr. 2.15, 2.16 jsou zobrazeny granuláty vyztuženého PP dlouhými vlákny.

Z četného výběru vláken je možné zvolit např. přírodní vlákna, u kterých lze nalézt spousty výhod.



Obr. 2.15 : Způsob výroby PP s dlouhými vlákny [3]



Obr. 2.16 : Granulát vyztuženého PP s dlouhými vlákny [3]

2.4 Využití přírodních vláken v automobilovém průmyslu

Využívání přírodních vláken jako výztuže v kompozitních materiálech používaných v automobilovém průmyslu neustále roste. Nejčastěji používaná vlákna jsou len, konopí, kenaf, juta a sisal, které jsou vloženy do matrice PP. Mezi výhody těchto materiálů patří především snižování hmotnosti automobilů, recyklovatelnost, šetrnost k životnímu prostředí, zdravotní nezávadnost při jejich zpracování, vysoká tepelná a zvuková izolace, dobré mechanické a výrobní vlastnosti, vysoká absorpce energie, malá teplotní roztažnost, výrobky mají přírodní povrch, vlákna nezpůsobují opotřebení zpracovatelských strojů. Nejedná se však pouze o technické výhody, ale i o výhody ekonomického charakteru, jako je dostupnost vláken a jejich nezávislost na cenách ropy, apod. Na druhé straně využívání přírodních vláken má určitá omezení, jsou choulostivé na navlhnutí, kvalita styku mezi vlákny a matricí je poměrně nízká, navíc existují obavy z kvality vláken a splňování emisních limitů zápachu [11,12].

Od roku 1994, kdy byly přírodní vlákna využity pro výrobu výplně dveří u Mercedesu třídy E (obr. 2.17), se postupně stávaly běžnými materiály v evropských automobilech pro interiérové komponenty.



Obr. 2.17 : Výrobky z přírodních vláken Mercedesu E [13]

Spotřeba přírodních vláken v Evropě byla v roce 1999 zhruba 25 tis. tun. Očekává se, že celkové využití přírodních vláken v evropském automobilovém trhu dosáhne více než 100 000 tun / rok a to do roku 2010 [13].

Tab. 2.1: Vlastnosti přírodních vláken [14]

vlákno	hustota [g/cm ³]	pevnost v tahu [MPa]	modul pružnosti E[MPa]	mezní prodloužení [%]
konopí	1,52	460	70000	1,7
juta	1,3	442	60000	2,0
len	1,52	840	100000	1,8
bavlna	1,52	200-800	27000	6-12

Přírodní vlákna vložená do PP matrice vykazují lepší vlastnosti, než vlákna vložená do PE matrice, což je zřejmé z tab. 2.2, 2.3. Proto se přírodní vlákna mnohem častěji vkládají do PP matrice. U polypropylénové matrice je nutné nepolární PP matici modifikovat polární složkou, obvykle maleinanhidridem pro lepší soudržnost vláken [14].



Tab. 2.2: Vlastnosti PP kompozitů s přírodními vlákny [14]

vlákno	hmotnostní podíl vláken v PP w_f [%]	pevnost v tahu [MPa]	modul pružnosti [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Izod-vrubov. těleso [J/m ²]	Izod- nevrubov. těleso [J/m ²]
juta	50	73	8500	100	40	210
sisal	50	60	6000	85	55	190
dřevo	50	39	5500	68	23	90
čistý PP	0	32	1700	41	24	620

Tab. 2.3: Vlastnosti PE HD kompozitů s přírodními vlákny [14]

vlákno	hmotnostní podíl vláken v PE w_f [%]	pevnost v tahu [MPa]	modul pružnosti [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Izod-vrubov. těleso [J/m ²]	Izod- nevrubov. těleso [J/m ²]
juta	50	26	3000	33	110	250
sisal	50	21	2100	24	151	226
dřevo	50	14	2000	19	48	107
čistý PP	0	4,2	120	4,2	46	-

Pro výplně dveří, zavazadlového prostoru, obložení stropu a dalších interiérových částí v automobilech, autobusech se používá např. materiál LoPreFin, na kterém v praktické části hodnotím vliv rychlosti zatěžování.

2.5 Vlastnosti materiálu LoPreFin

Jedná se o materiál, který je vyráběn firmou R + S Technik. Firma se zabývá výrobou komponentů určených pro automobilový průmysl, převážně dílů vnitřního vybavení vozu.

Firma se více než 50 let zaměřuje na vývoj a konstrukci strojů, nástrojů pro výrobu interiérových dílů v automobilovém průmyslu.

Vnitřní díly se vyrábějí ze smíšených přírodních a plastových vláken. Povrch může být opatřen vrstvou (textilií), která dodává danému dílci konečný vzhled [15].

Používají se tkané, pletené či netkané textilie. Může se jednat o textilie z PP,

PES vláken. Materiálové složení je odvislé od jednotlivých druhů, vždy s převážným podílem vedlejších textilních surovin [16].

LoPreFin se skládá ze tří vrstev (*obr. 2.18*). Dvě vnější vrstvy jsou ze 70% PP a 30% PES a vnitřní vrstva je složena z 50% přírodních vláken a 50% PP. Přírodní vlákna se vyznačují dobrou tvarovatelností a pevností [15].



1- PES/PP vlákna 2- PP/přírodní vlákna (např. len, konopí, kanaf)

Obr. 2.18 : Materiál LoPreFin [15]

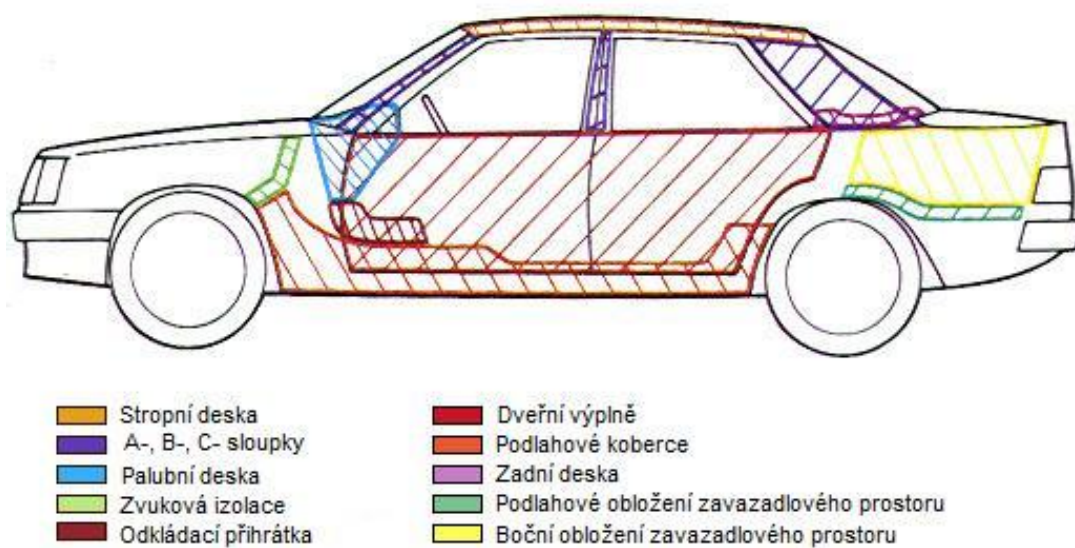
LoPreFin je dnes široce využíván např. u automobilů značky Mercedes, BMW, Volkswagen, ale i dalších vozů v Evropě. Vyznačuje se vlastnostmi, které jsou požadovány v automobilovém průmyslu:

- Vysokou teplotní stabilitou
- Vysokou stabilitou při nízké hustotě
- Minimální absorpci vody (<15%)
- Odolností proti prasklinám
- Recyklovatelností
- Ekologickou vhodností
- Vysokou pevností, tuhostí
- Ekonomickou výhodností
- Vrstvením v jednom cyklu
- Bez zápachovosti
- Vysokou zvukovou izolací
- Možností barevné úpravy vnějších vrstev

Materiály LoPreFin nejsou využívány pouze v automobilovém průmyslu, ale mají uplatnění i v dalších odvětvích např. pro výrobu zavazadel [17]. Následující obrázky (*obr. 2.19 - 2.22*) znázorňují možné aplikace materiálu LoPreFin.



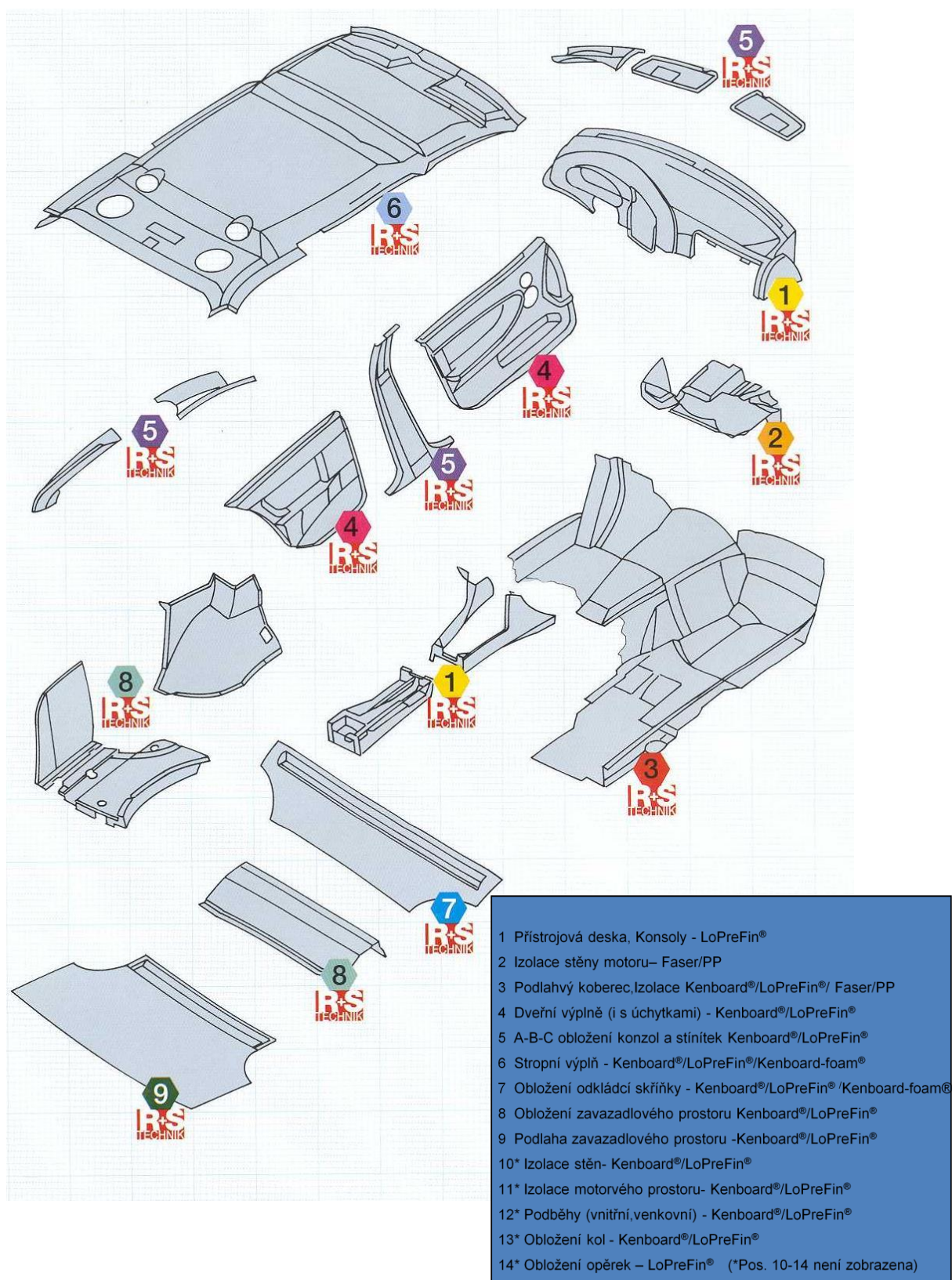
Obr. 2.19 : Desky LoPreFin [10]



Obr. 2.20 : Aplikace LoPreFin [18]



Obr. 2.21 : Výplň dveří Mitsubishi Space Star [12]



Obr. 2.22 : Díly z interiéru vozu vyráběné firmou R+S Technik [15]



2.3 Mechanické vlastnosti

Vzhledem ke složení zkoušeného materiálu a vzhledem k provedeným experimentům se v této kapitole zmíním o mechanických vlastnostech polymerních materiálů, viskoelastickém chování a jeho popisu.

Mechanické vlastnosti polymerních materiálů jsou závislé kromě teploty také na chemickém složení, velikosti a tvaru makromolekul, nadmolekulární struktuře a makrostruktuře, uspořádání plniva ve hmotě, ale i na geometrickém tvaru konstrukčních dílů. Mezi mechanické vlastnosti polymerů patří:

Tuhost plastů vyjadřuje sílu, kterou je nutno vynaložit pro deformaci tělesa v pružné oblasti deformací. Mírou této síly je modul pružnosti ve smyku a v tahu.

Pevnost polymerů je závislá na molekulární a nadmolekulární struktuře. Tvar tahových křivek je pod teplotou skelného přechodu T_g odlišný od tvaru nad teplotou T_g . U amorfních polymerů po překonání pružné deformace dochází k přetržení tělesa. Nejnižší pevnost vykazují neplněné semikrystalické plasty, jejich pevnost však stoupá se zvyšujícím se obsahem krystalických podílů. K nejpevnějším patří polymery s vláknitou výztuží.

Tvrдость plastů je vyjádřena jako odpor, který klade povrch tělesa proti vnikání cizího tělesa. Souvisí s kvalitou povrchu a vnitřními vlastnostmi polymeru. Je ovlivňována teplotou, stupněm navlhnutí, u semikrystalických plastů stupněm krystalinity.

Houževnatost plastů vyjadřuje množství práce potřebné pro vznik nového povrchu. U plastů nejčastěji určujeme rázovou nebo vrubovou houževnatost pomocí metody Charpy a Izod. Zvýšit houževnatost je možné přidavkem změkčovadel, aditiv, kopolymerací.

2.3.1 Viskoelastické chování polymerů

Deformační chování polymerních materiálů je komplikované díky jejich složité struktuře. Deformace, která je vyvolána vnějším namáháním, se skládá z elastické, plastické a zpožděně elastické složky. Jelikož plastická a zpožděně elastická deformace je funkcí velikosti napětí a času, tak i celková deformace je časově závislá. Takovéto chování se nazývá viskoelastické a je ho možné velmi dobře znázornit mechanickými modely.

Ideálně pružné těleso popisuje pružina, která se po vložení napětí ihned deformuje a po odlehčení se vrací okamžitě do své výchozí polohy. Představuje Hookovu pružnou deformaci γ_1 , kde platí:

$$\tau = G_1 \cdot \gamma_1 \Rightarrow \gamma_1 = \frac{\tau}{G_1} \quad (1)$$

kde je:

τ – smykové napětí [MPa]

γ_1 – Hookova pružná deformace [-]

G_1 – modul pružnosti ve smyku [MPa]

Plastická (trvalá) deformace γ_3 je znázorněna netěsnícím válcem s pístem. Deformace narůstá po celou dobu působení síly a po skončení zůstane zachována. K rovnováze mezi napětím a deformací nedojde. Působením vnějšího napětí dochází k posuvu jednotlivých vrstev kapaliny a nastává tok, který je vyjádřen Newtonovým zákonem:

$$\tau = \eta_3 \cdot \frac{d\gamma_3}{dt} \Rightarrow \gamma_3 = \frac{\tau}{\eta_3} \cdot t \quad (2)$$

kde je:

τ – smykové napětí [MPa]

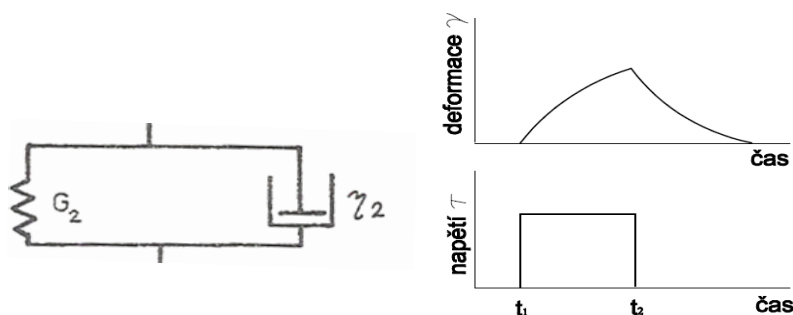
η_3 – dynamická viskozita [Pa·s]

t – čas [s]

γ_3 – plastická trvalá deformace [-]

$\frac{d\gamma_3}{dt}$ – rychlost smykové deformace [s⁻¹]

Zpožděně elastickou deformaci γ_2 popisuje Kelvinův model (obr. 2.23) a vztah (3), kde je paralelně zapojena pružina a netěsnící válec s pístem. Po skončení napětí deformace exponenciálně klesá.



Obr. 2.23 : Kelvinův model [2]

$$\tau = \gamma_2 \cdot G_2 + \eta_2 \cdot \frac{d\gamma_2}{dt} \Rightarrow \gamma_2 = \frac{\tau}{G_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot G_2}{\eta_2}} \right) \quad (3)$$

kde je:

τ – smykové napětí [MPa]

η_2 – dynamická viskozita [Pa·s]

G_2 – modul pružnosti ve smyku [MPa]

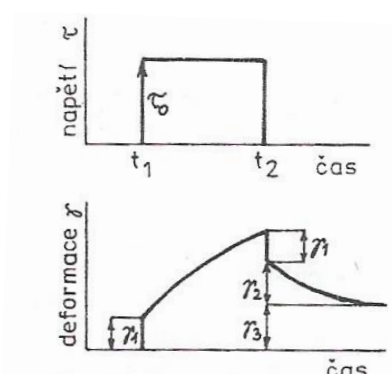
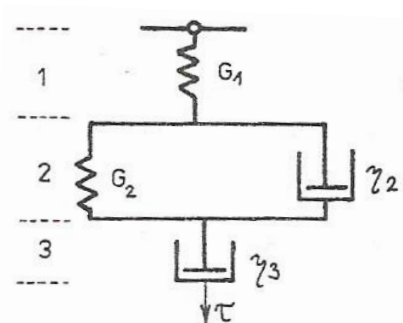
γ_2 – zpožděně elastická deformace [-]

t – čas [s]

$\frac{d\gamma_2}{dt}$ – rychlost smykové deformace [s^{-1}]

Celková deformace γ_c je součtem jednotlivých členů deformací a je vyjádřena tzv. Tucketovým modelem (obr. 2.24) a vztahem (4).

$$\gamma_c = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$



Obr. 2.24 : Tucketův model [2]

$$\gamma_c = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot G_2}{\eta_2}} \right) + \frac{\tau}{\eta_3} \cdot t \quad (4)$$

kde je:

γ_c – celková deformace [-]

τ – smykové napětí [MPa]

$G_{1,2}$ – modul pružnosti ve smyku [MPa]

t – čas [s]

η_3 – dynamická viskozita [Pa·s]



Deformace γ_1 po zrušení vnějšího napětí vymizí, deformace γ_3 je trvalá. Deformace γ_2 se neustaví okamžitě, nýbrž postupně s časem. Kelvinův model tedy vykazuje relaxaci deformace (retardaci), kdy velikost deformace v závislosti na čase je dána vztahem:

$$\gamma_2(t) = \gamma_0 \cdot e^{\frac{-G}{\eta}t} \quad (5)$$

kde je:

γ_2 – zpožděně elastická deformace [-]

γ_0 – deformace těsně před zrušením vnějšího napětí [-]

η – dynamická viskozita [Pa·s]

G – modul pružnosti ve smyku [MPa]

t – čas [s]

Narůstání a uvolnění deformace závisí na tzv. relaxační době, což je doba, kterou potřebují makromolekuly, aby vytvořily novou rovnovážnou konformaci při změně vnějšího napětí. Vztah pro relaxační dobu je následující:

$$t_r = \frac{\eta}{G} \quad (6)$$

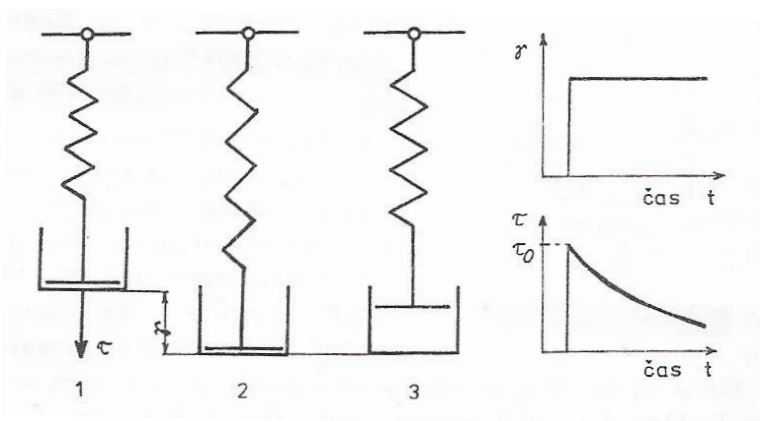
kde je:

G – modul pružnosti ve smyku [MPa]

η – dynamická viskozita [Pa·s]

V praxi probíhají retardační procesy pomaleji, než jak popisuje Tucketův model a proto, aby bylo možné se více přiblížit skutečnosti, kombinuje se za sebou více Kelvinových modelů, lišících se vzájemně relaxační dobou a tím vzniká tzv. modelové spektrum.

Důležitou vlastností viskoelastických látek je relaxace napětí, která charakterizuje uvolňování napětí v tělese, které bylo deformováno konstantní hodnotou deformace. Napětí nutné pro udržení konstantní deformace se postupně snižuje a dochází k jeho relaxaci. Relaxaci napětí lze opět popsat pomocí modelu, v tomto případě pomocí tzv. Maxwelllova modelu (*obr. 2.25*), který se skládá z ideálně pružného a ideálně viskózního členu zapojenými za sebou.



Obr. 2.25 : Maxwellův model znázornění relaxace napětí [2]

Jakmile začne působit vnější napětí, dojde k deformaci elastického členu. Po ustavení konečné deformace, která je úměrná vnějšímu napětí τ_0 , se začne uplatňovat i ideálně viskózní člen, který přebírá část celkové deformace. Plastická deformace tak narůstá a elastická se postupně zmenšuje. Napětí v tělese klesá, jelikož je způsobováno pouze tahem pružiny.

Celková deformace γ_c je dána součtem ideálně pružného γ_1 a viskózního členu γ_2 , popsáno vztahem (7).

$$\gamma_c = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (7)$$

Časová závislost napětí $\tau_{(t)}$ je popsána vztahem:

$$\tau_{(t)} = \tau_0 \cdot e^{-\frac{G}{\eta}t} \quad (8)$$

kde je:

τ_0 – napětí nutné k vynaložení celkové deformace [MPa]

t – čas [s]

η – dynamická viskozita [Pa·s]

G – modul pružnosti ve smyku [MPa]

Po dosazení relaxační doby do vztahu (8) je zřejmé, že relaxační doba je doba, kdy napětí v tělese klesne na hodnotu 37% z původního napětí.

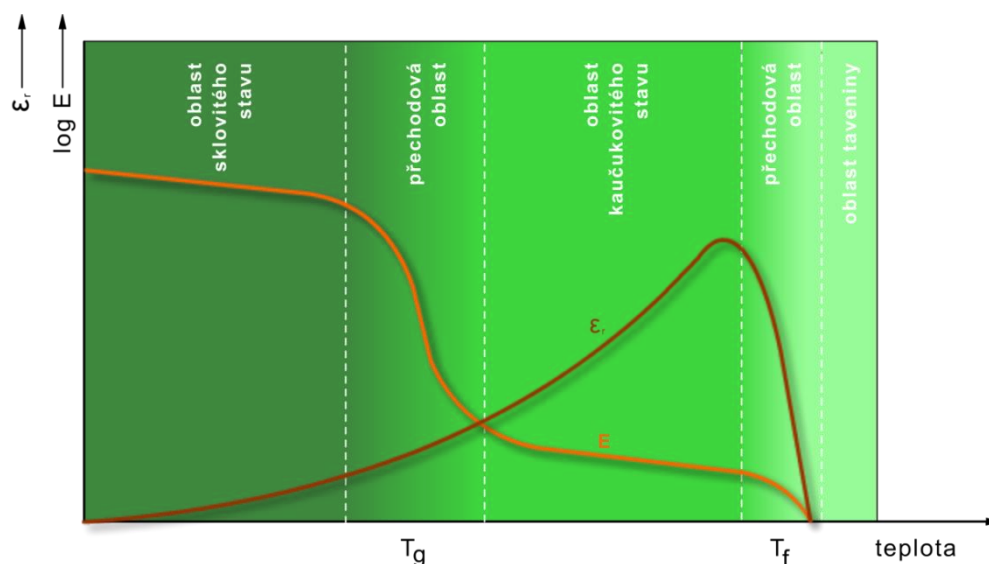
$$\tau_{(t)} = \gamma \cdot G_{r(t)} \quad (9)$$

kde je:

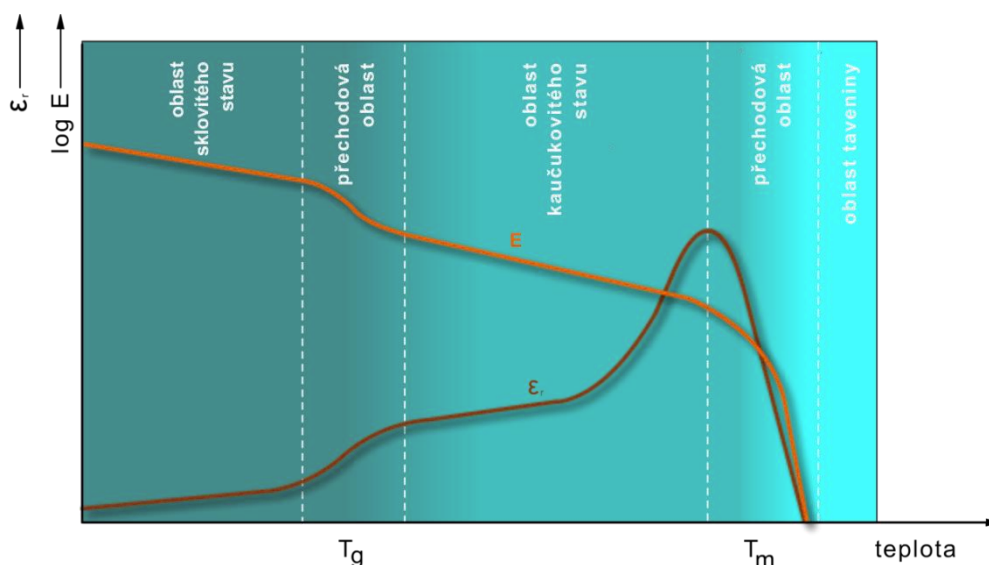
γ – deformace tělesa [-]

$G_{r(t)}$ – relaxační modul pružnosti [MPa]

Viskoelastické chování polymerů je hlavně ovlivňováno teplotou a rychlostí zatěžování. V případě, že je materiál zatěžován při teplotě nižší než T_g , je viskozita ve válkách tak vysoká, že se hmota chová jako dokonale pružné těleso a uplatňuje se pouze pružná deformace γ_1 . Při teplotě nepatrně nad T_g se kromě ideálně pružného členu projeví i člen zpožděně elastický γ_2 . Při vyšší teplotě než T_g se uplatňuje člen γ_2 i γ_3 naopak podíl ideálně pružného členu, se na celkové deformaci zmenšuje. Překročíme-li teplotu tání T_m , klesá na nulu i podíl zpožděně elastického členu a uplatňuje se pouze trvalá plastická deformace γ_3 . Vliv teploty na vlastnosti amorfních polymerů znázorňuje (obr. 2.26), na vlastnosti semikrystalických polymerů (obr. 2.27).

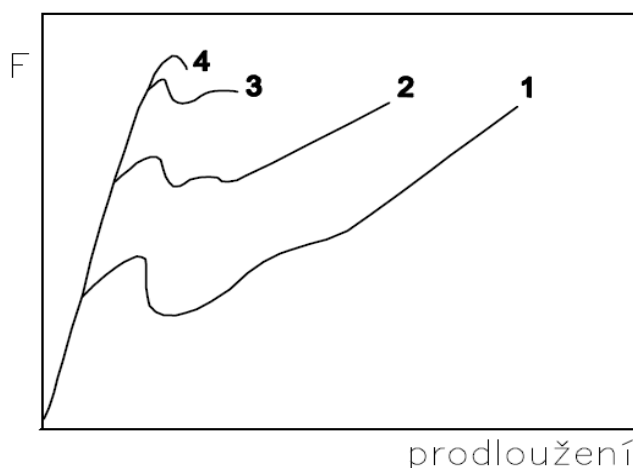


Obr. 2.26 : Vliv teploty na vlastnosti amorfních polymerů [3]



Obr. 2.27 : Vliv teploty na vlastnosti amorfních polymerů [3]

Je-li doba působení vnější síly velmi krátká, např. namáhání rázem, kde se jedná o zlomky sekundy, bude se materiál chovat jako dokonale pružný a bude vykazovat vysoký modul pružnosti i pevnost. Jestliže naopak působí síla po velmi dlouhou dobu, projeví se i zpožděně elastický a viskozní člen a dokonce mohou převládnout nad ideálně pružnou deformací. Materiál se pak jeví jako poddajnější a modul pružnosti a pevnost nabývá menších hodnot [2]. Vliv rychlosti zatěžování na vlastnosti polymerů znázorňuje obr. 2.28.



Obr. 2.28 : Závislost síly na rychlosti deformace u polypropylenu [4]

1- 2.6 mm/min, 2- 15 mm/min, 3- 52 mm/min, 4- 300 mm/min

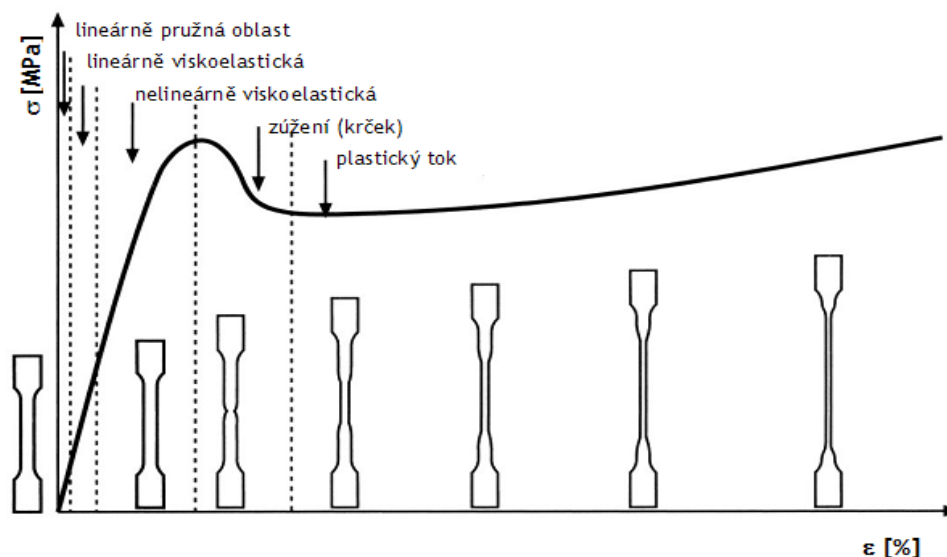
2.3.2 Zkoušky mechanických vlastností polymerů

Podle způsobu stanovení vlastnosti a podle účelu je možné zkušební metody rozdělit:

- **Krátkodobé zkoušky**, kde je vliv relaxačních dějů zanedbatelný. Nejčastěji se provádí zkoušky v tahu, tlaku, v ohybu nebo ve smyku, kdy k porušení tělesa dojde zhruba do jedné minuty.
- **Dlouhodobé zkoušky**, které se podle charakteru působící síly rozdělují na *statické*, kdy působí klidná síla, nebo *dynamické*, kdy se síly mění buď rázem, nebo za velmi krátký časový úsek, popřípadě se velikost síly mění periodicky v extrémně krátké době [2,19].

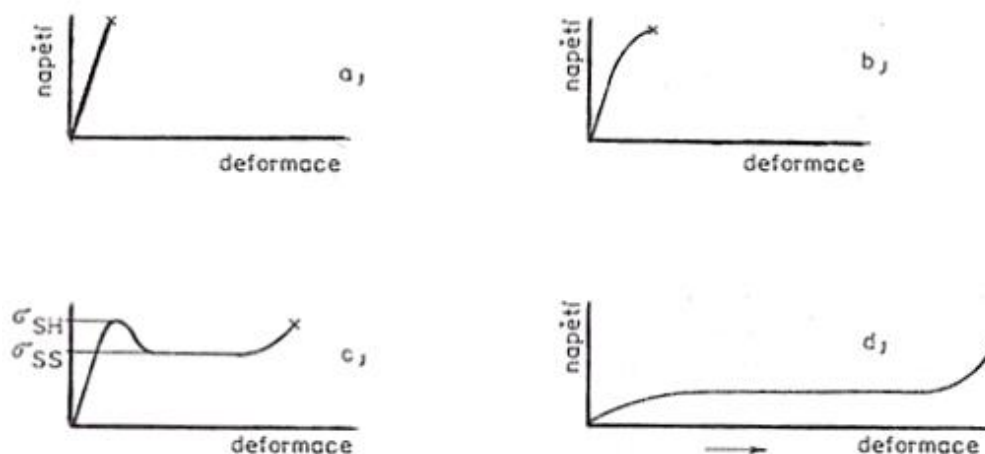
2.3.3 Tahová zkouška

Jednou z nejdůležitějších zkoušek pro zjištění mechanických vlastností materiálů je tahová zkouška, která se řídí normou ISO 527.

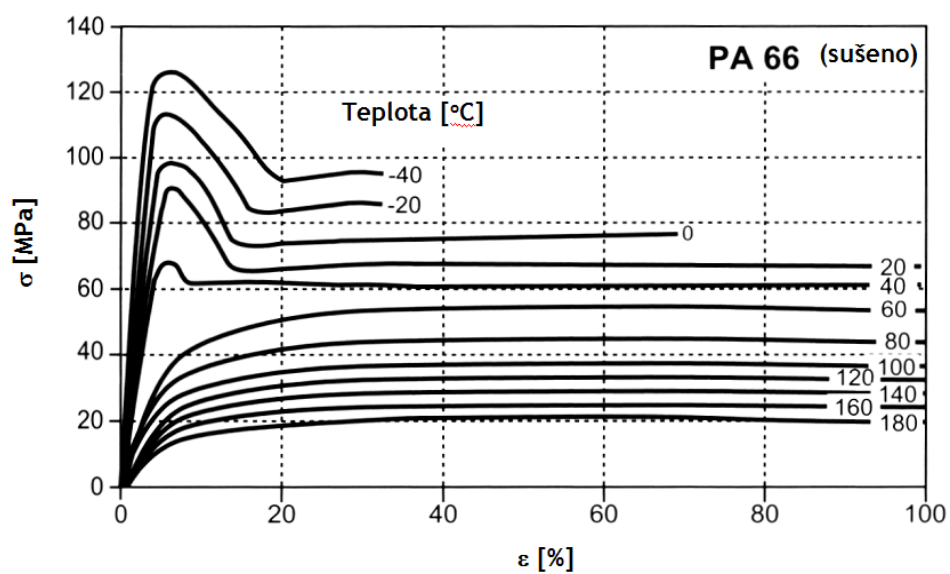


Obr. 2.29 : Deformační křivka smikrystalického termoplastu [3]

Na podmínkách zatěžování, tj. na teplotě, na rychlosti deformace a druhu polymeru, lze získat různé deformační křivky. Příklady deformačních křivek jsou znázorněny na obr. 2.30, vliv teploty na tvaru deformačních křivek u PA 66 na obr. 2.31.



Obr. 2.30 : Deformační křivky různých polymerů při tahovém namáhání [2]
 a) amorfní polymery obsahující tvrdá minerální plniva (kompozity), b) semikrystalické polymery s vysokým stupněm krystalinity, c) běžné semikrystalické polymery, d) kaučuky



Obr. 2.31 : Vliv teploty, na tvar deformačních křivek u PA 66 [3]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

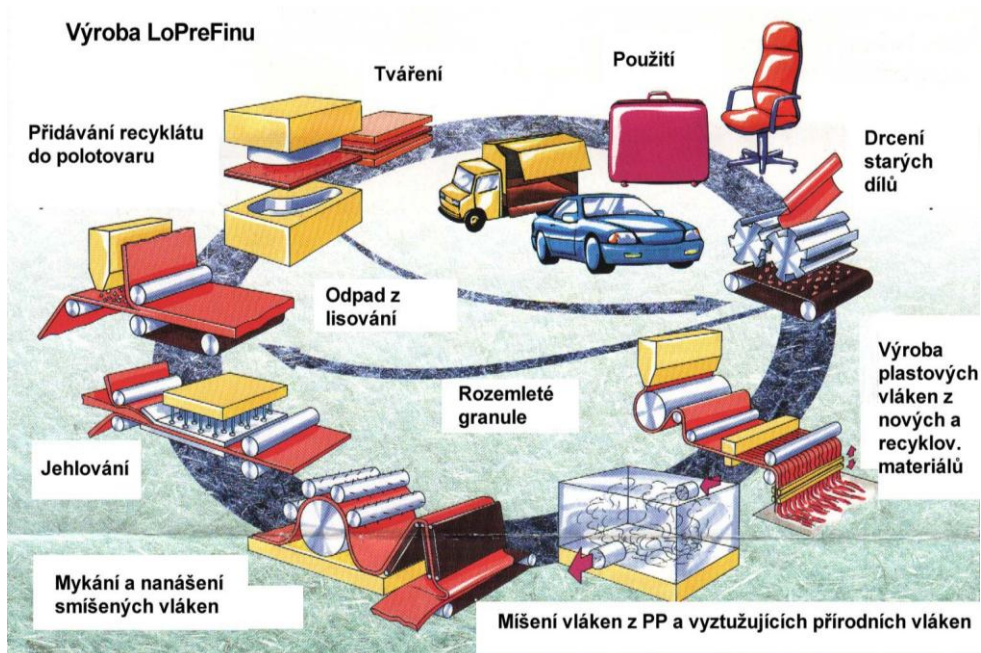
Cílem diplomové práce bylo posouzení vlivu rychlosti deformace na chování dodaných materiálů, tedy na materiálů LoPreFin bez textílie a na materiálu LoPreFin, který byl opatřen tkaninou, netkanou textilií a pleteninou.

V praktické části jsem popsal zkoušený materiál, přípravu zkušebních vzorků pro tahovou zkoušku, zkušební stroj a systém ARAMIS pro monitorizaci deformace zkušebních vzorků.

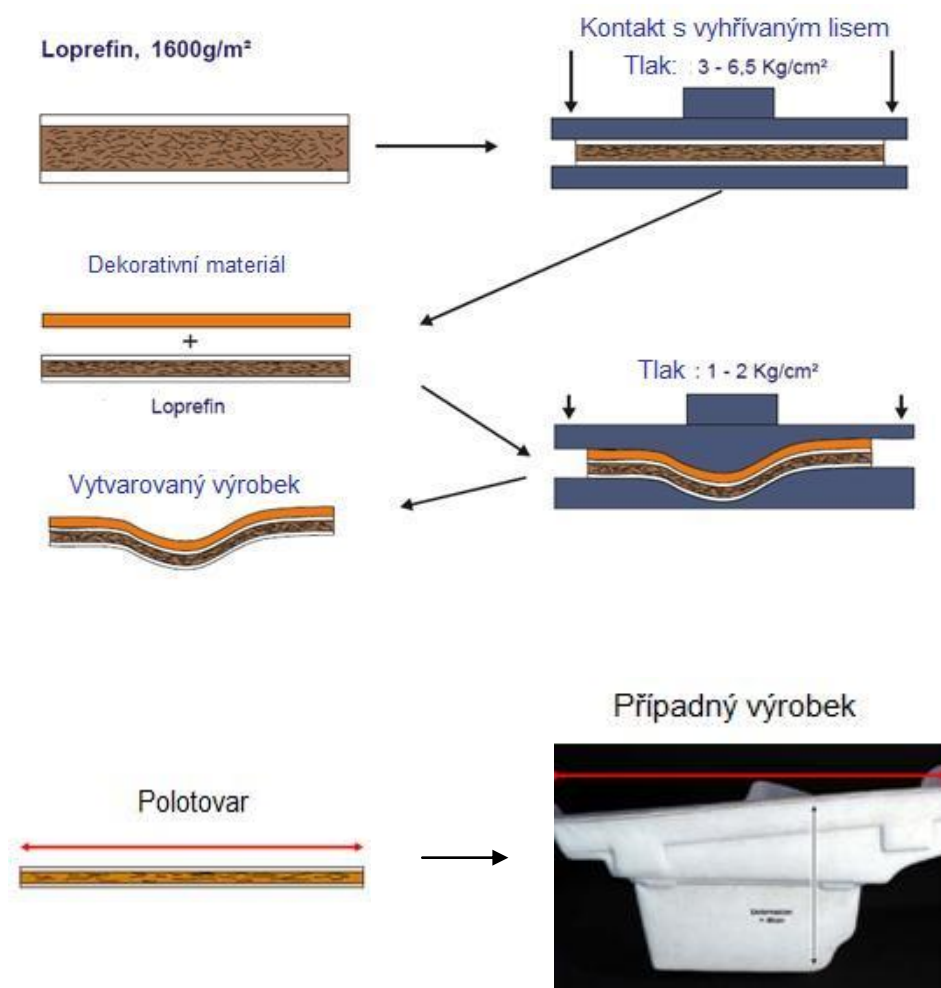
Postupně jsem vyhodnocoval naměřené hodnoty u jednotlivých materiálů a vzorků a pro přehlednost jsem za každou z dílčí částí měření provedl diskusi výsledků.

3.1 Zkoušený materiál LoPreFin

Technologie výroby zkoušeného materiálu je jednokroková (obr. 3.1). Nejprve dochází k smíšení přírodních a plastových vláken. Tyto vlákna jsou smíchána v uzavřené směšovací komoře, dokud nevznikne homogenní směs. Na vytlačovacím stroji se vyrobí PP deska, která se následně nataví. Na tuto desku se nanese smíšená vlákna, která se jehlováním přesunou do PP desky. Konečného tvaru desky se docílí vakuovým tvarováním. Pro výrobu plastových vláken se z části používá recyklovaný materiál ze starých dílů.



Obr. 3.1 : Schéma výroby materiálu LoPreFin [17]



Obr.: 3.2 : Schéma výroby LoPreFinu opatřeného textilií [12]

3.2 Výroba zkušebních těles

Zkoušený materiál LoPreFin, byl dodán od výrobce R+S Technik v deskách o rozměrech 1000x500x3mm. Jednalo se jak o desky (*tab. 3.1*), které nebyly na povrchu opatřeny textilií, tak i o desky opatřené tkaninou, netkanou textilií a pleteninou. Dle příslušné normy pro tahovou zkoušku byly vysekány z desek tvary zkušebních těles (*obr. 3.3*) a to pro tři směry 0°, 45° a 90° z důvodu vyhodnocení vlivu orientace textilie. Tato příprava probíhala v dílnách katedry „Strojírenská technologie“ střížným nástrojem na výstředníkovém lisu (*obr. 3.4*).

Z důvodu, aby později nedošlo k záměně jednotlivých materiálů a vzorků, hlavně pro jednotlivé směry, jsem popsal vzorky římskými čísly (I, II, III, IV) a směry odebrání vzorků (0°, 45°, 90°).



Obr. 3.3 : Tvar zkušebních těles

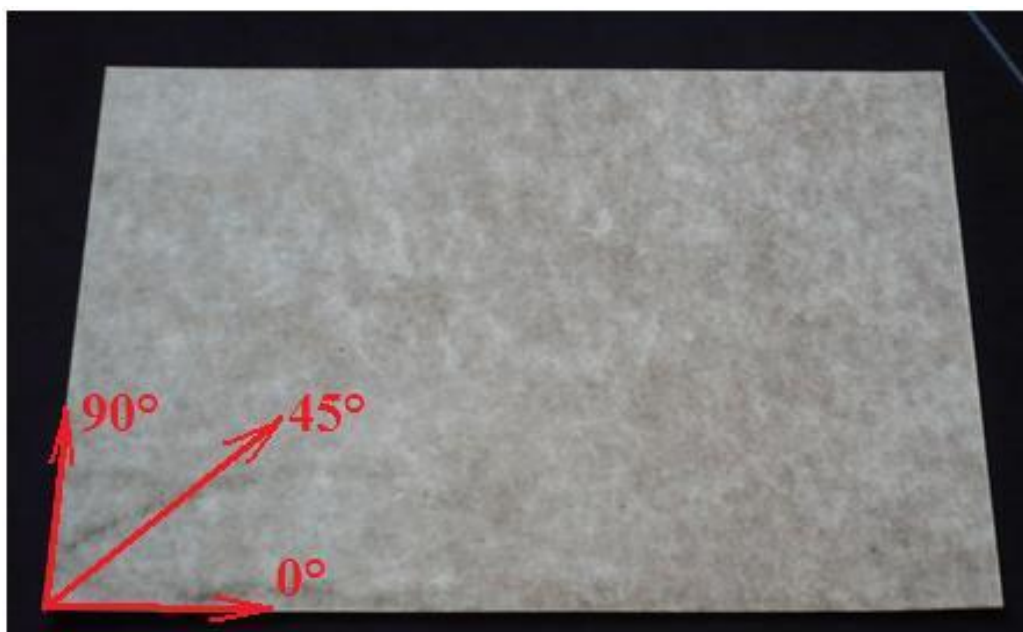


Obr. 3.4 : Výstředníkový lis

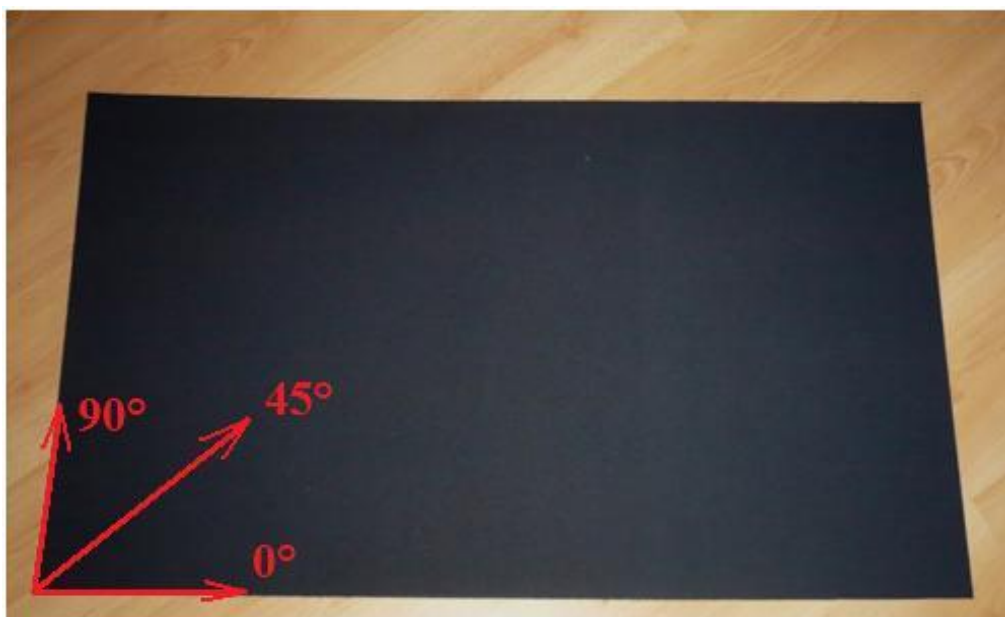
Tab. 3.1 : Druhy povrchových vrstev zkoušených desek

Materiál	Povrchová vrstva desek			
	bez textilie	tkanina	pletenina	netkaná textilie
LoPreFin I	X			
LoPreFin II		X		
LoPreFin III			X	
LoPreFin IV				X

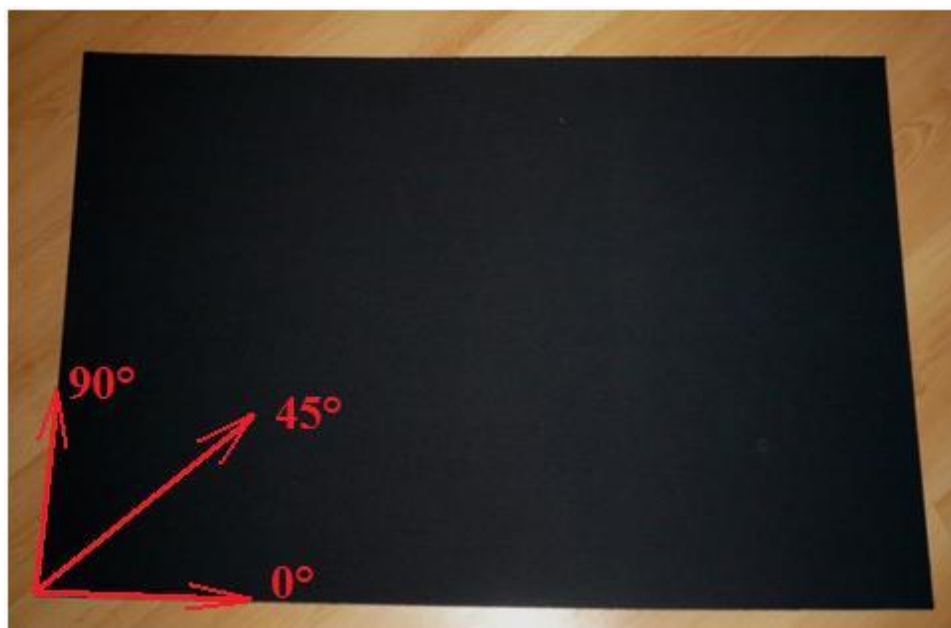
Níže uvedené obrázky (obr. 3.5 – 3.8) zobrazují desky zkoušených materiálů dodaných od výrobce R+S Technik.



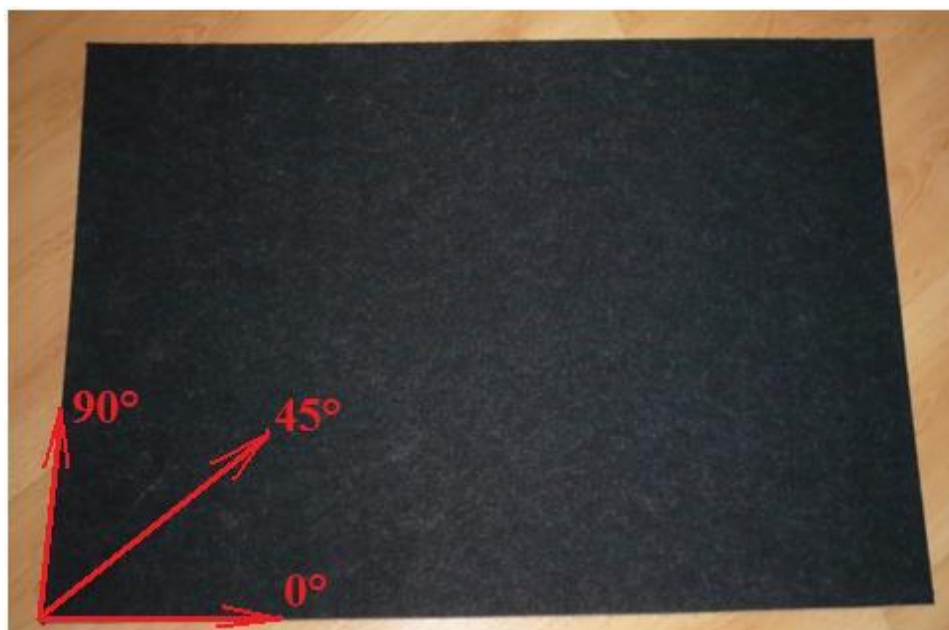
Obr. 3.5 : Deska materiálu LoPreFin, ozn. I - PP deska s přírodními vlákny bez textilie



*Obr. 3.6 : Deska materiálu LoPreFin a ukázka povrchové vrstvy, ozn. **II** – PP deska s přírodními vlákny opatřena tkaninou*



*Obr. 3.7 : Deska materiálu LoPreFin a ukázka povrchové vrstvy, ozn. **III** – PP deska s přírodními vlákny opatřena pleteninou*

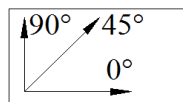


Obr. 3.8 : Deska materiálu LoPreFin a ukázka povrchové vrstvy, ozn. IV – PP deska s přírodními vlákny opatřena netkanou textilií

3.3 Realizace tahové zkoušky

Zkoušku tahem jsem provedl dle normy ISO 527 na trhacím stroji TIRA test 2300 (*obr. 3.10*) pro všechny dodané materiály. Zkouška probíhala v několika fázích. Měřil jsem zkušební vzorky, které byly odebrány z desek ve třech směrech (*obr. 3.9*) 0° , 45° a 90° při třech rychlostech zatěžování:

- $v_1 = 1 \text{ mm/min}$
- $v_2 = 50 \text{ mm/min}$
- $v_3 = 100 \text{ mm/min}$



Obr. 3.9 : Směry odebrání zkušebních vzorků

Pro každý materiál (I, II, III a IV), směr (0° , 45° a 90°) a rychlost (1, 50 a 100 mm/min) jsem provedl zkoušku na pěti zkušebních tělesech s počáteční délkou $L_0 = 80 \text{ mm}$. Velikost deformace byla měřena externím průtahoměrem, který je součástí zkušebního zařízení. Naměřená data byla zpracována v softwaru LabNet. Ve výstupním protokolu je vyhodnocena mez pevnosti a tažnost zkoušeného materiálu. Jednotlivé protokoly z provedených zkoušek jsou v přílohách této diplomové práce.



Obr. 3.10 : Statické trhací zařízení TIRA test 2300



Obr. 3.11 : Upnutí zkušebního tělesa s průtahoměrem $L_0=80$ mm

3.4 Bezkontaktní měření deformace systémem ARAMIS

Hlavním úkolem diplomové práce bylo hodnocení rozložení deformace na povrchu zkušebních těles při různých rychlostech zatěžování. Na základě tohoto požadavku byl proto v celém průběhu tahového namáhání zkoušených materiálů použit bezkontaktní měřicí systém Aramis.

3.4.1 Charakteristika systému Aramis

ARAMIS je bezkontaktní měřicí systém pro měření reálných 3D deformací (obr. 3.12). Výsledkem je barevná mapa rozložení deformací na objektu. Měřicí zařízení se skládá z dvou snímacích kamer, osvětlení, PC se softwarem image processing.

Výhody měření systémem Aramis:

- velký rozsah měření (objekty od velikosti 1 mm do 1000 mm)
- rozsah měření deformace (od 0,05% až do stovek %)
- mobilita (systém lze snadno přepravovat)
- flexibilita (snadná změna velikosti záběru a rozlišitelnosti systému)
- přehledná analýza výsledků měření (grafické vizualizace)



Obr. 3.12 : Bezkontaktní měřicí systém Aramis

3.4.2 Princip měření systémem Aramis

Na zkušební tělesa byly pomocí akrylových sprejů Motip a Sparvar nanесeny kontrastní vzory (tzv. patterny). Byly použity dvě barvy ve spreji, univerzální akrylový sprej Sparvar bílé barvy a akrylový sprej Motip černé barvy. Bílá barva sloužila jako podklad a černou barvou byly vytvořeny „černé tečky“ (*obr. 3.13*).



Obr. 3.13: Zkušební těleso pro monitorizaci deformace systémem Aramis

Takto připravené zkušební těleso bylo upnuto do statického trhacího zařízení TIRA test 2300. Bylo nutné otočit upínací čelisti tak, aby bylo možné celou plochu zkušebního tělesa snímat kamerami (*obr. 3.14*).



Obr. 3.14: Uspořádání měřícího komplexu

Měřicí systém vyžaduje před měřením provést kalibraci. Při měření musí být zkušební těleso dostatečně osvětleno, zaostřeno a kamery seřizeny tak, aby bylo dosaženo optimálního výsledku.

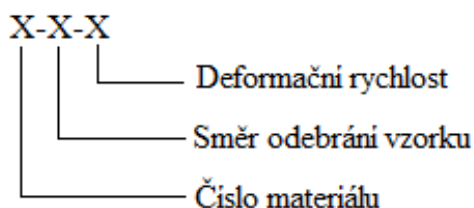
Kontrastní vzory se deformují společně s deformovaným tělesem. Z vytvořených snímků byly pomocí „image processing“ vypočteny 3D souřadnice bodů ležících na povrchu objektu. Porovnáním odpovídajících bodů v jednotlivých úrovních měření systém vypočítal posuvy a následně tvar deformovaného objektu a velikost deformace.

Shodným způsobem byly změřeny všechny materiály (I, II, III, IV) ve třech zvolených směrech orientace textilie (0° , 45° a 90°) a při třech rychlostech zatěžování (1 mm/min, 50 mm/min a 100 mm/min). Čas mezi pořízenými snímky byl pro rychlost 1 mm/min 1,5 s a to vzhledem k limitnímu množství snímků, které lze při dané vzorkovací frekvenci snímání $f = 6$ Hz získat na bezkontaktním měřicím zařízení Aramis. Pro rychlost 50 mm/min a 100 mm/min, byly snímky pořizovány po 1 s a to do přetržení zkušebního tělesa.

3.5 Výsledky měření

Tato část diplomové práce popisuje výsledky měření jednotlivých zkoušených materiálů a je zde uvedena diskuse výsledků o chování zkoušených materiálů při různých deformačních rychlostech zatěžování.

Pro přehlednost výstupů jsem si pro zkoušené materiály zavedl značení, které hodnotí jak zkoušený materiál, tak i směr odebrání vzorku a použitou deformační rychlost.



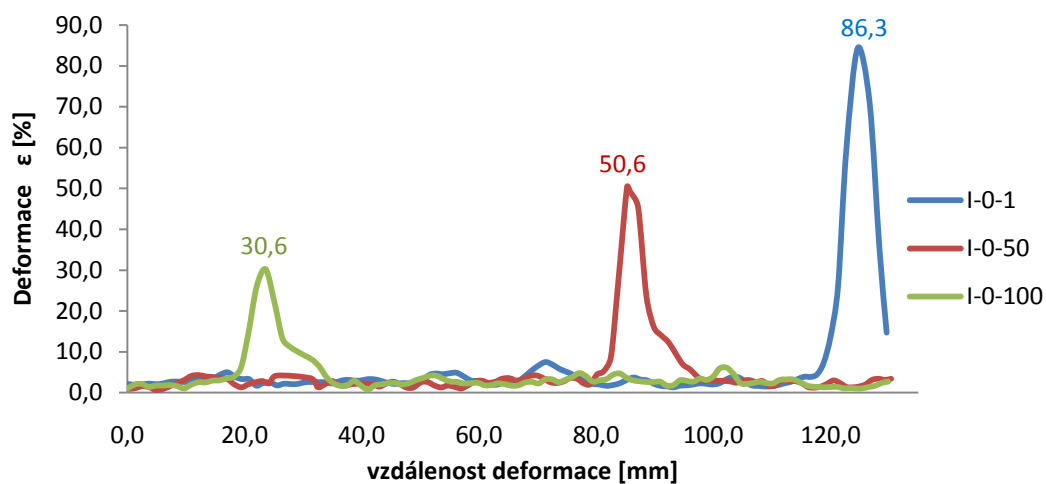
Příklad značení:

I-0-1 \Rightarrow Zkušební těleso PP deska s přírodními vlákny bez textilie, odebrané ve směru 0°, zatěžováno deformační rychlostí $v = 1$ mm/min.

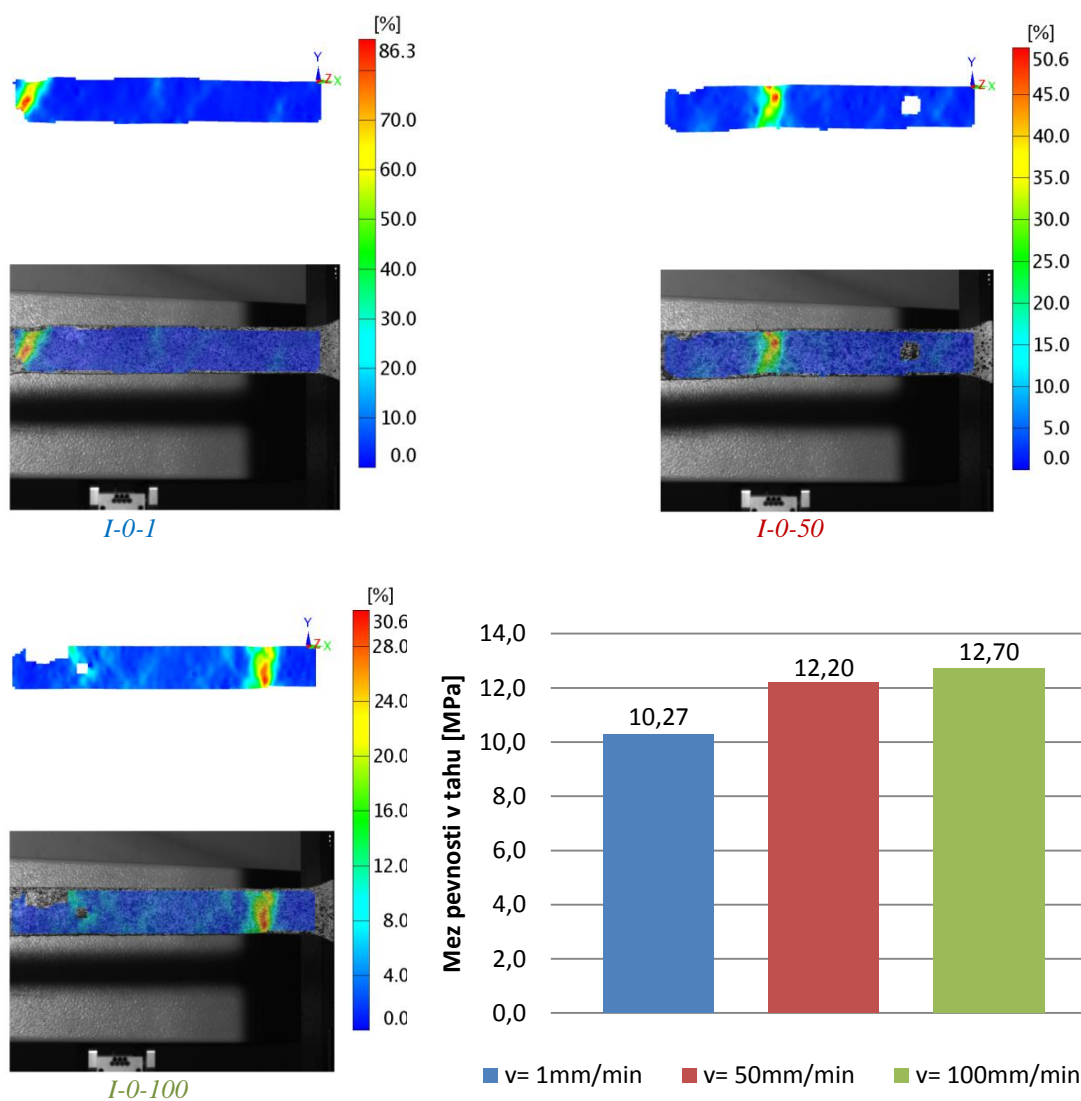
Výsledkem měření optickým systémem bylo rozložení deformace před prasknutím ve zkoušeném tělese.

3.5.1 Výsledky měření materiálu č. I

Na následujících obrázcích (*obr. 3.15 a 3.16*) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál I (bez textilie) a směru odebrání 0°. Obr. 3.17 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál I ve směru odebrání 0°.



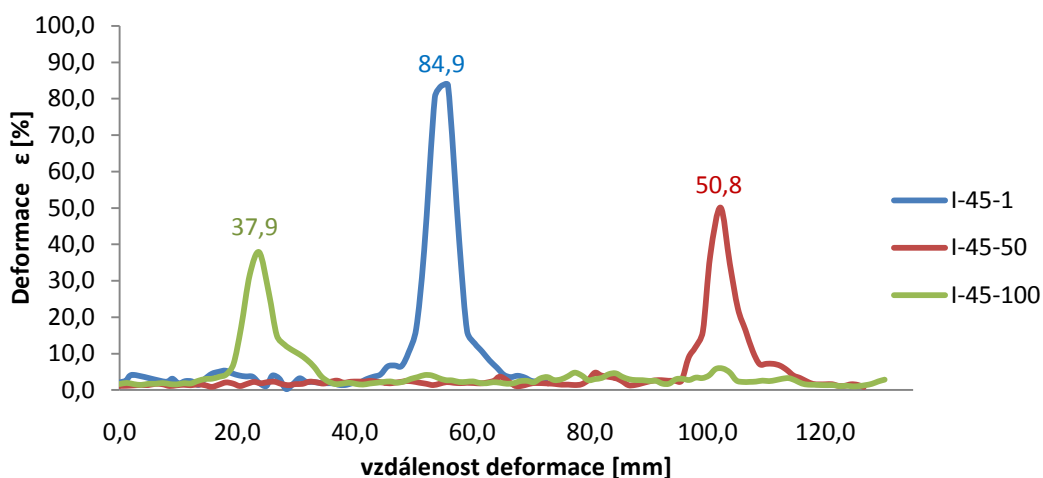
Obr. 3.15 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. I ve směru odebrání 0°, rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



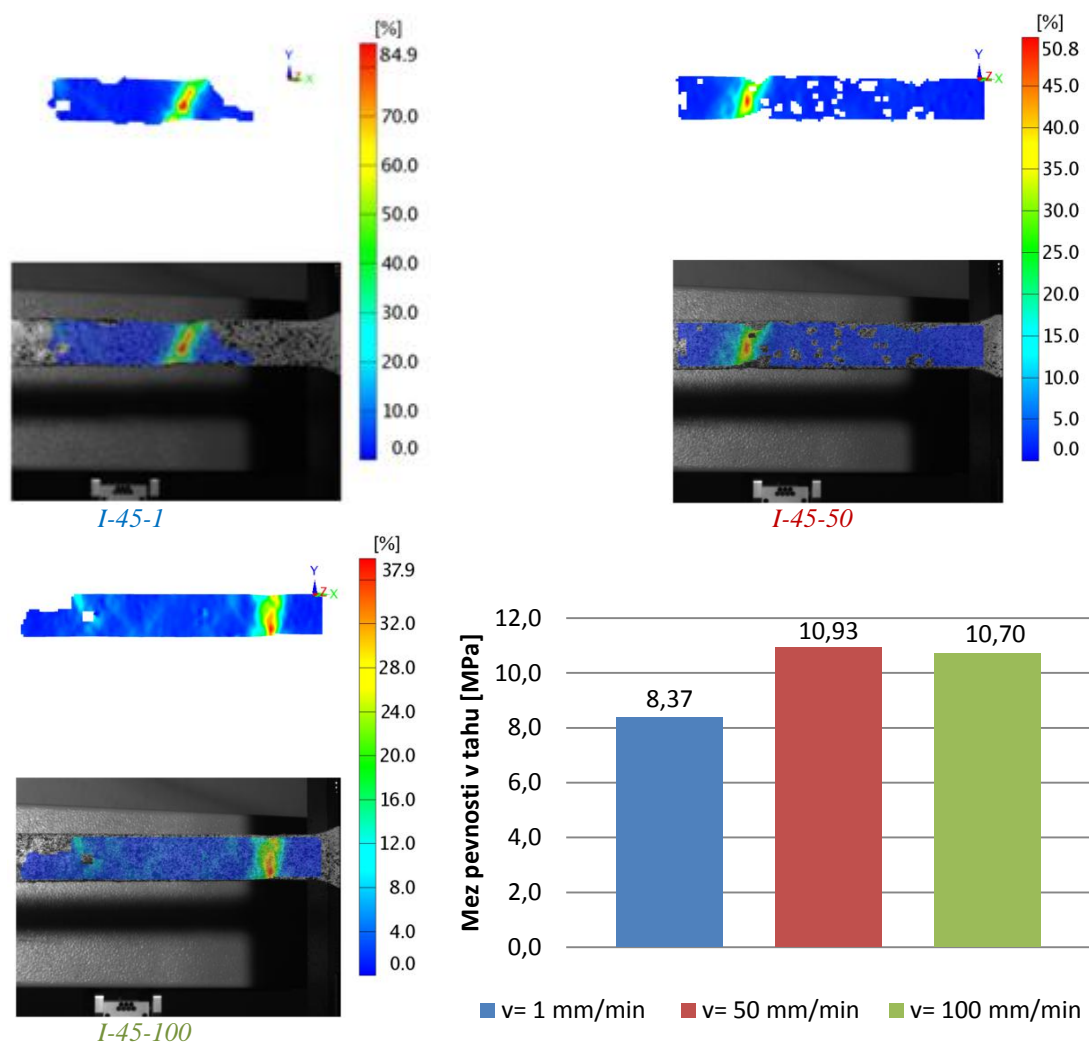
Obr. 3.16 : Rozložení deformace

Obr. 3.17 : Mez pevnosti materiálu č. I ve směru odebrání 0°

Na následujících obrázcích (obr. 3.18 a 3.19) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál I (bez textilie) a směru odebrání 45° . Obr. 3.20 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál I ve směru odebrání 45° .



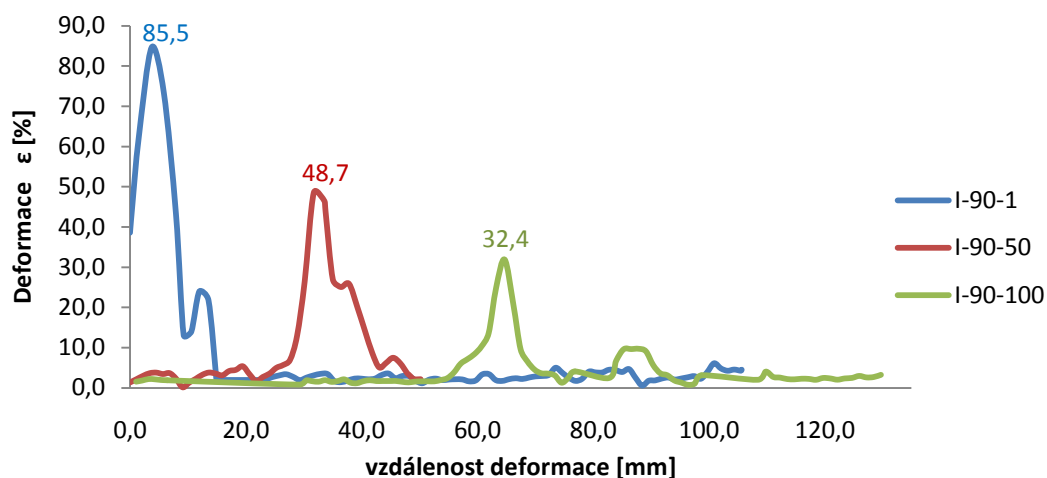
Obr. 3.18 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. I ve směru odebrání 45° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



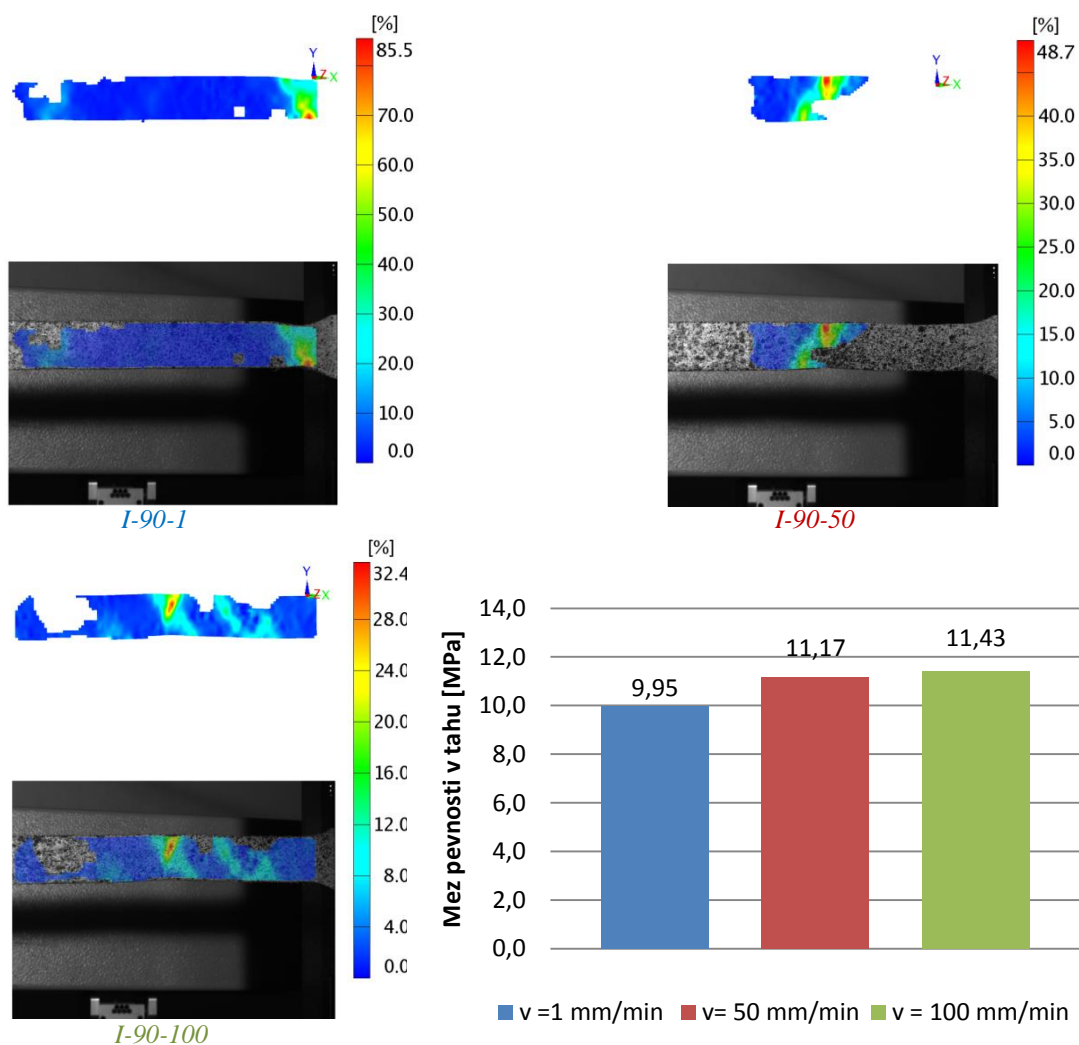
Obr. 3.19 : Rozložení deformace

Obr. 3.20 : Mez pevnosti materiálu č. I ve směru odebrání 45°

Na následujících obrázcích (obr. 3.21 a 3.22) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál I (bez textilie) a směru odebrání 90° . Obr. 3.23 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál I ve směru odebrání 90° .



Obr. 3.21 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. I ve směru odebrání 90° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



Obr. 3.22 : Rozložení deformace

Obr. 3.23: Mez pevnosti materiálu č. I ve směru odebrání 90°

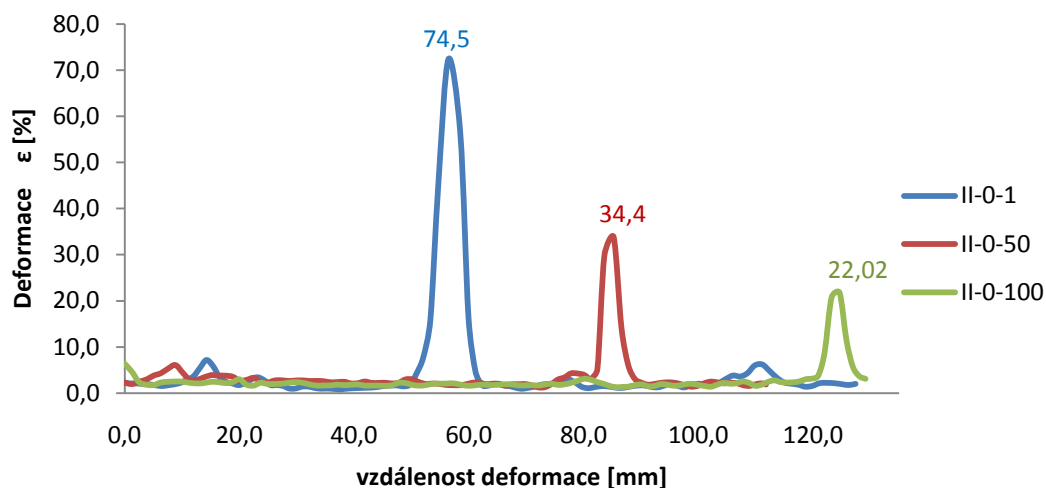


Diskuse výsledků materiálu č. I:

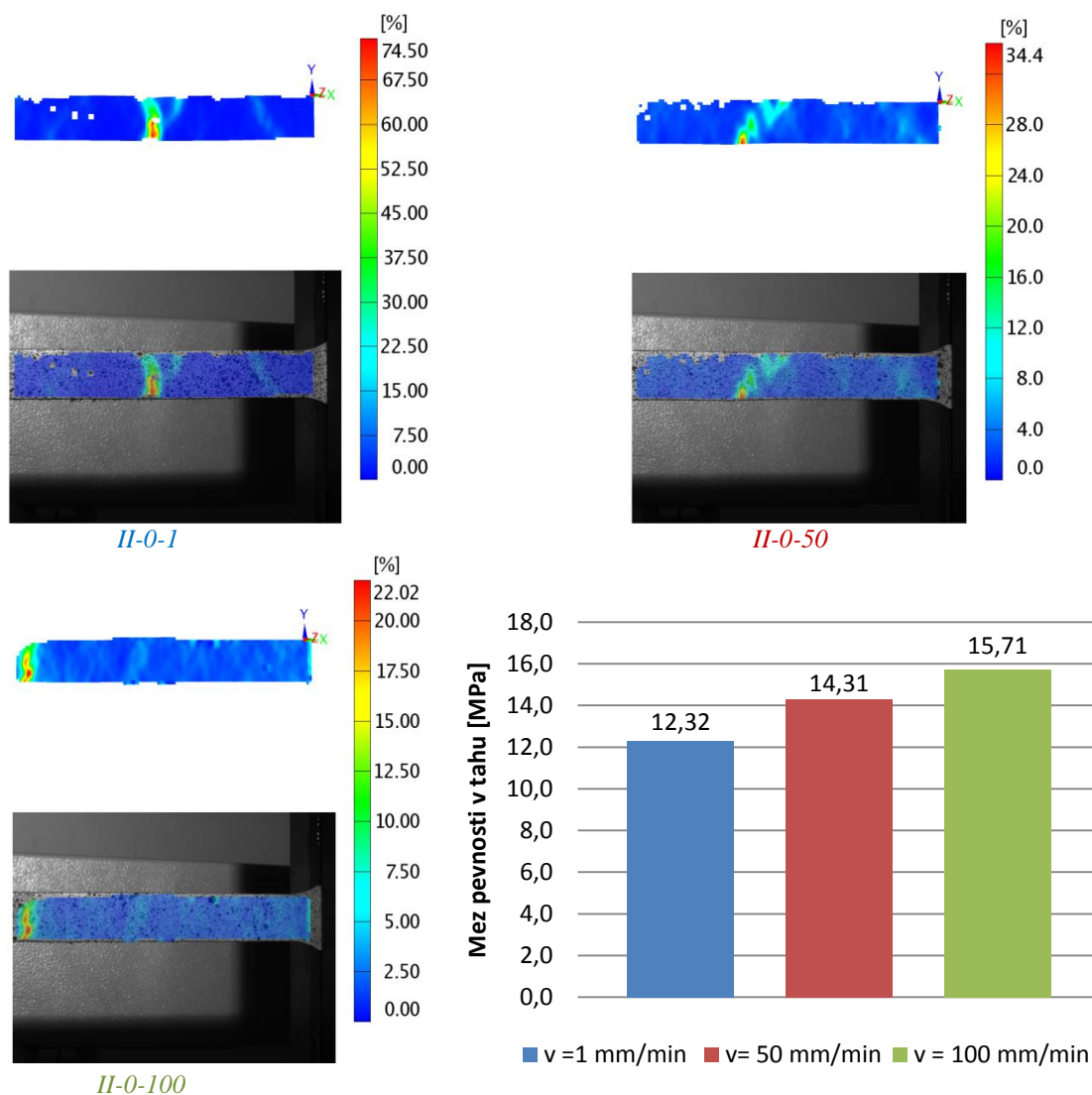
Měřený materiál č. I nebyl na povrchu opatřen textilií. Z naměřených hodnot vyplývá, že s rostoucí deformační rychlostí stoupá mez pevnosti a maximální dosažená deformace klesá, která je vyhodnocena před prasknutím zkoušeného vzorku. K největšímu nárůstu meze pevnosti dochází při změně zatížení zkušebního tělesa z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min. Konkrétně ve směru odebrání 45° a při zvětšení z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min, došlo k navýšení meze pevnosti o 2,56 MPa, což odpovídá nárůstu o cca 30%. Mezi rychlostmi 50 mm/min a 100 mm/min není nárůst meze pevnosti tak výrazný, dokonce ve směru odebrání 45° je hodnota meze pevnosti při deformační rychlosti 100 mm/min menší, než při rychlosti 50 mm/min, avšak o hodnotu nepřesahující směrodatnou odchylku. Pro deformaci platí, že maximální naměřená hodnota deformace je vždy při rychlosti 1 mm/min. V jednotlivých směrech se deformace příliš nemění. Deformace se při přechodu z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min změnila o více jak 37%, což představuje deformaci ε cca 50%. Pokles hodnoty deformace při změně deformační rychlosti z 50 mm/min na 100 mm/min konkrétně ve směru odebrání vzorku 0° byl 20%, což představuje deformaci ε 30,6%. Zde se již výrazně projevuje vysoká rychlost zatěžování zkušebních těles, kdy nejenom makrostruktura, ale i mikrostruktura vzorku (uspořádaná krystalická fáze matrice oproti přírodním vláknům) nedokáže tak rychle měnit svou konformaci ve vztahu k rychlosti zatěžování. Z grafického rozložení deformace vyplývá, že lokalizovaná oblast krčku se vyznačuje vyšší mírou deformace, než je tomu v oblastech zkušebního tělesa mimo tuto oblast, kde je deformace několikanásobně nižší. Například u materiálu ve směru odebrání 45° a deformační rychlosti 100 mm/min, deformace v oblasti krčku dosahuje hodnoty 37,9% a v oblastech mimo krček zhruba hodnoty 5%.

3.5.2 Výsledky měření materiálu č. II

Na následujících obrázcích (*obr. 3.25 a 3.26*) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál II (s tkaninou) a směru odebrání 0°. Obr. 3.17 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál II ve směru odebrání 0°.



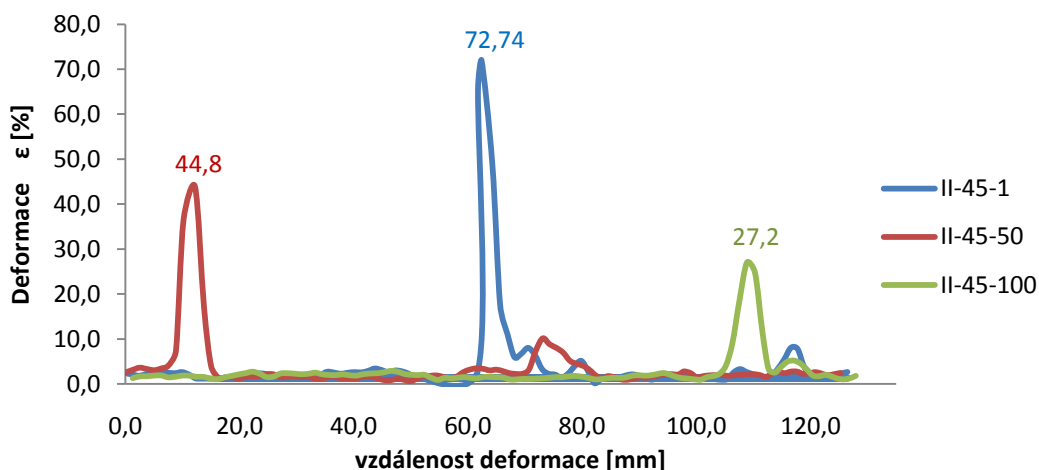
Obr. 3.25 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. I ve směru odebrání 0° , rychlosti $v = 1, 50, 100 \text{ mm/min}$



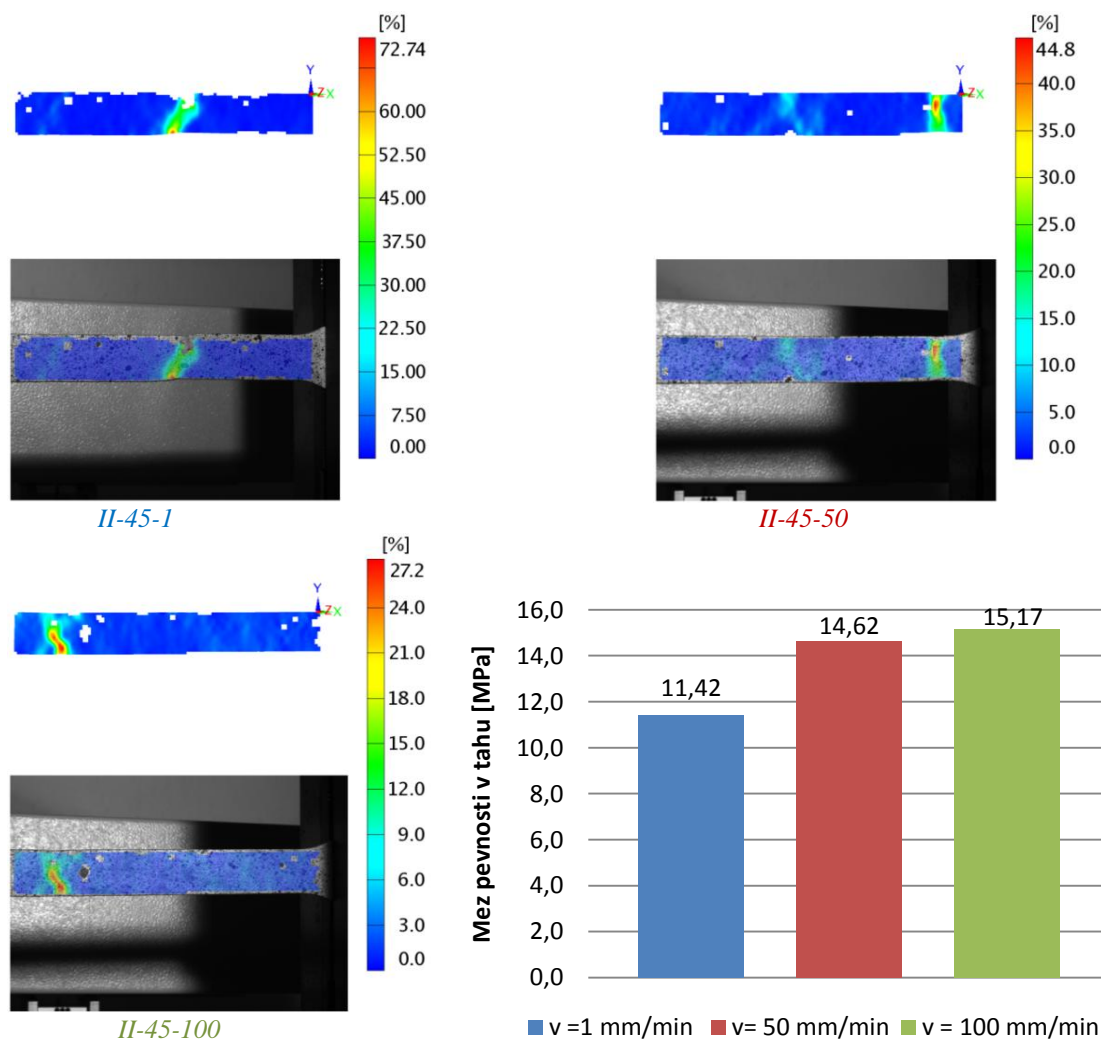
Obr. 3.26 : Rozložení deformace ϵ

Obr. 3.27 : Mez pevnosti materiálu č.II ve směru odebrání 0°

Na následujících obrázcích (obr. 3.28 a 3.29) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál II (s tkaninou) a směru odebrání 45° . Obr. 3.30 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál II ve směru odebrání 45° .



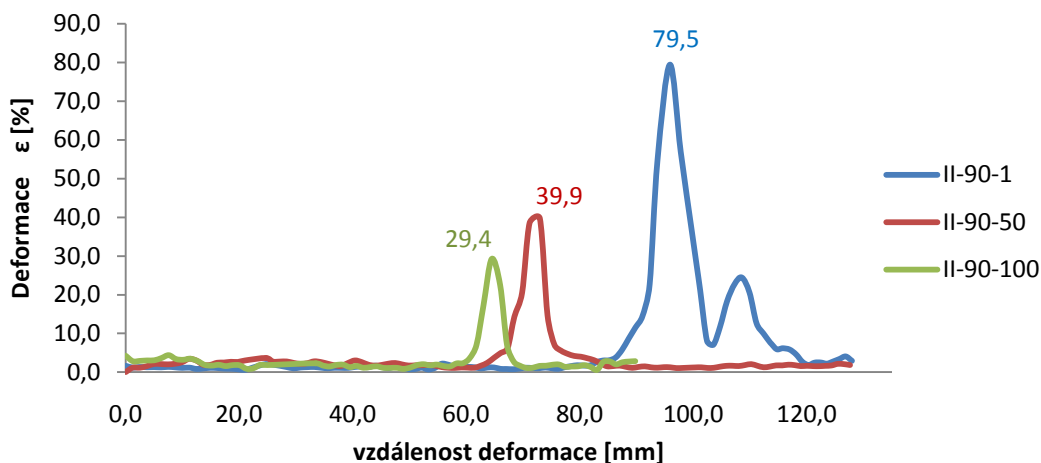
Obr. 3.28 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. II ve směru odebrání 45° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



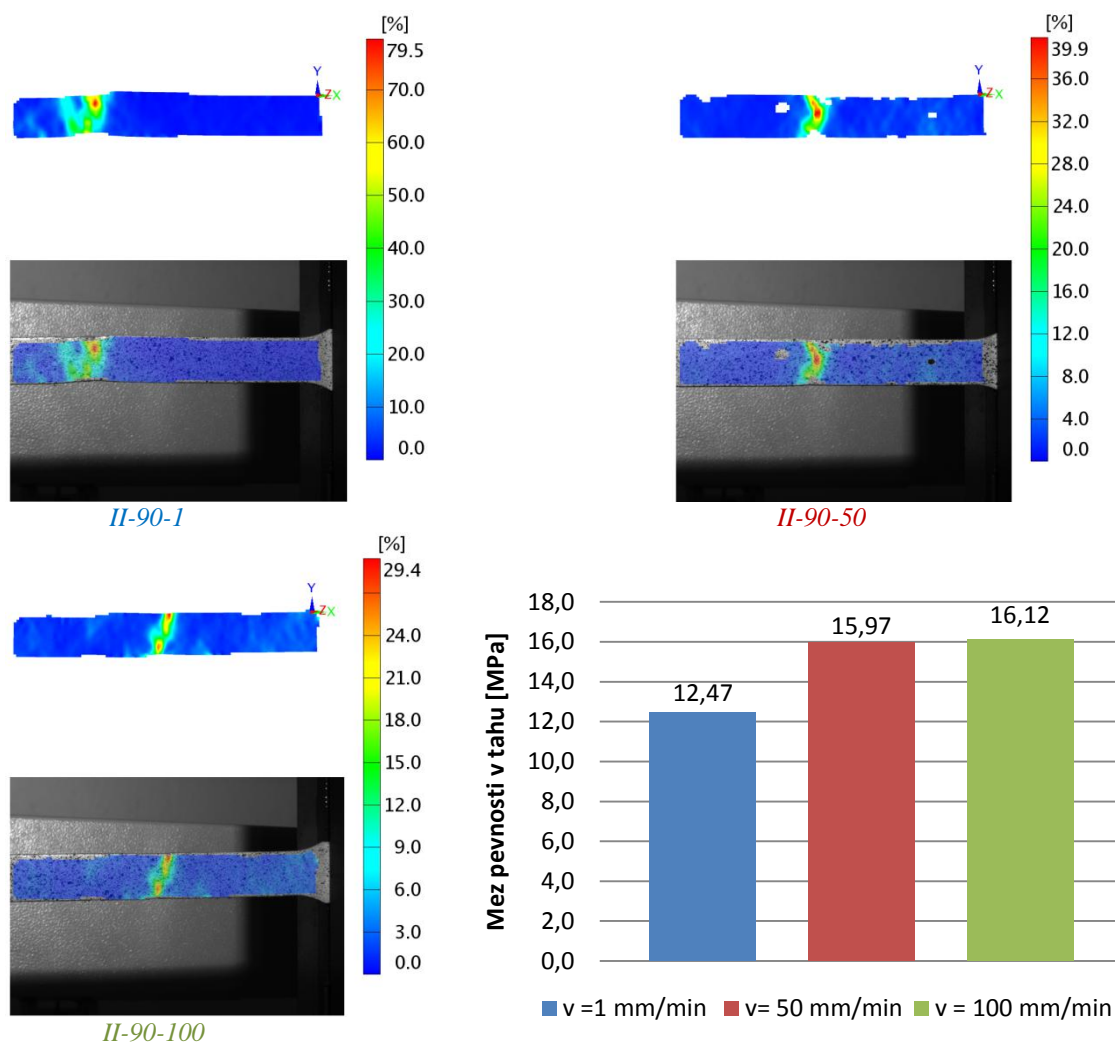
Obr. 3.29 : Rozložení deformace ϵ

Obr. 3.30: Mez pevnosti materiálu č. II ve směru odebrání 45°

Na následujících obrázcích (obr. 3.31 a 3.32) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál II (s tkaninou) a směru odebrání 90° . Obr. 3.33 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál II ve směru odebrání 90° .



Obr. 3.31 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. II ve směru odebrání 90° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



Obr. 3.32 : Rozložení deformace ε

Obr. 3.33 : Mez pevnosti materiálu č. II ve směru odebrání 90°



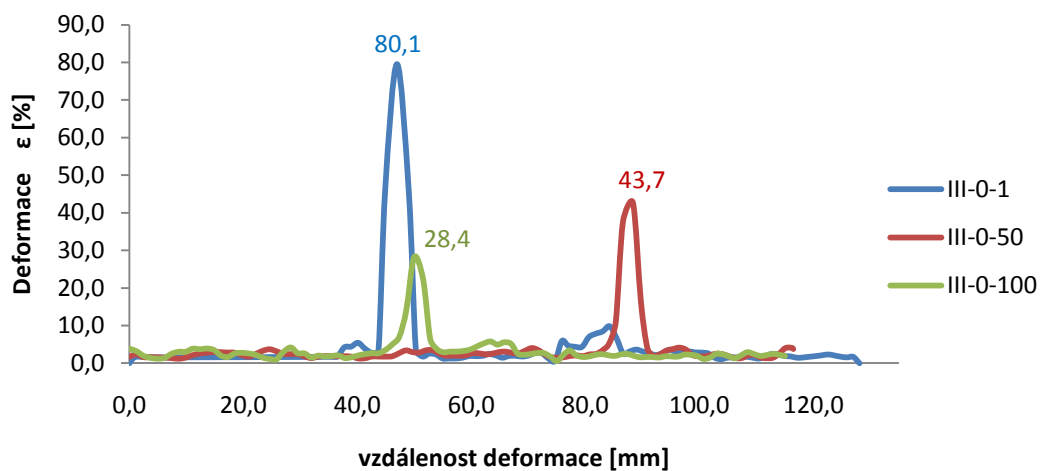
Diskuse výsledků materiálu č. II:

Měřený materiál č. II je na povrchu opatřen tkaninou. Z naměřených hodnot pořízených pro materiál č. II opět vyplývá, že s rostoucí deformační rychlostí mez pevnosti roste a deformace klesá. K největšímu nárůstu meze pevnosti dochází při změně zatížení zkušebního tělesa z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min. Konkrétně ve směru odebrání 90° a při zvětšení deformační rychlosti z 1 mm/min na 50 mm/min, došlo k navýšení meze pevnosti o 3,5 MPa, což odpovídá nárůstu o cca 28%. Největší naměřená deformace byla při rychlosti 1 mm/min, což platilo pro všechny směry odebrání vzorku. V jednotlivých směrech se deformace příliš nemění.

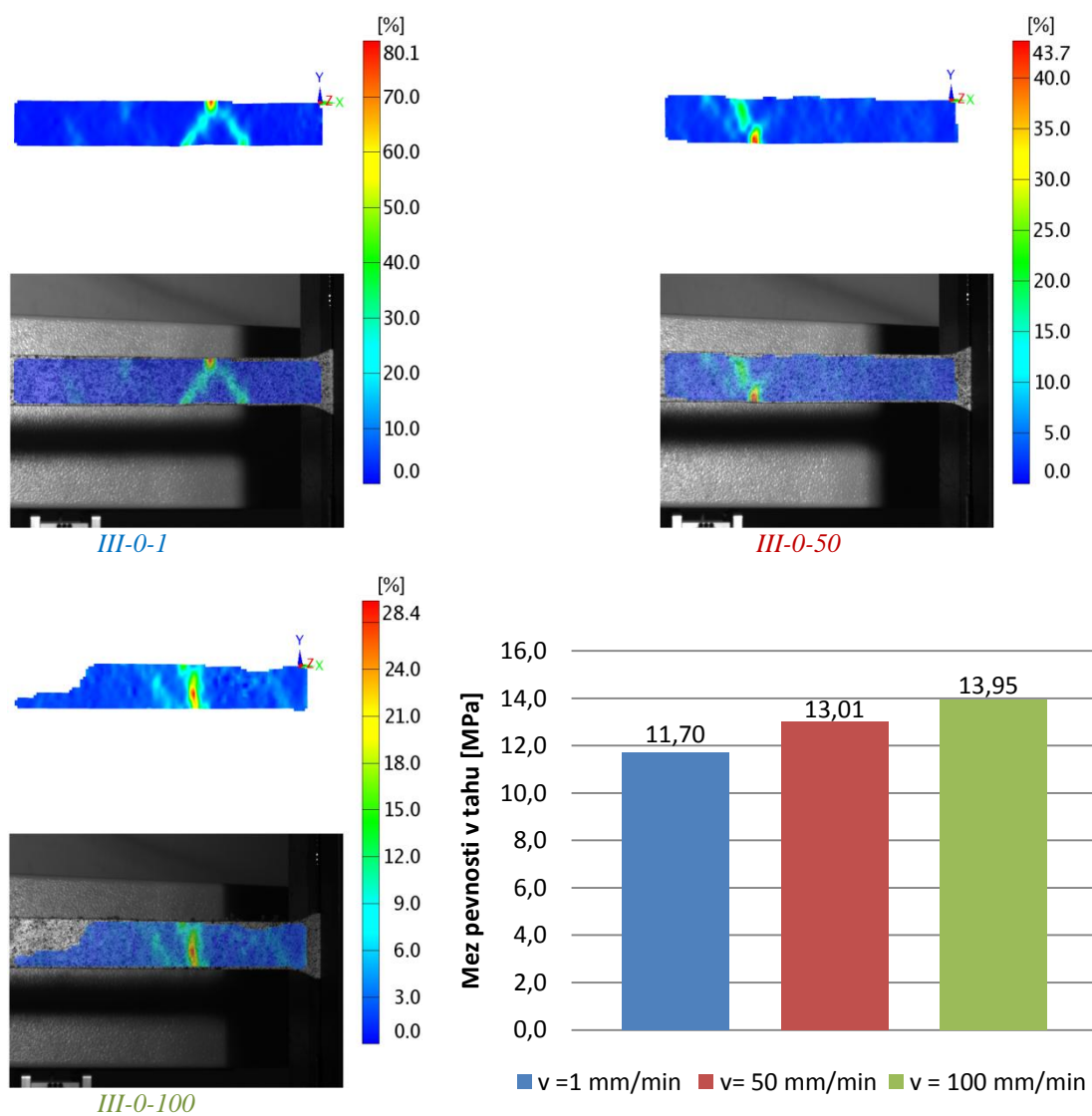
Deformace se při přechodu z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min změnila o více jak 40%, což představuje deformaci ε cca 40%. Pokles hodnoty deformace při změně deformační rychlosti z 50 mm/min na 100 mm/min byl o více než 14%, což představuje deformaci ε cca 26%. Zde se již výrazně projevuje vysoká rychlost zatěžování zkušebních těles, kdy nejenom makrostruktura, ale i mikrostruktura vzorku (uspořádaná krystalická fáze matrice oproti přírodním vláknům) nedokáže tak rychle měnit svou konformaci ve vztahu k rychlosti zatěžování. Z grafického rozložení deformace vyplývá, že lokalizovaná oblast krčku se vyznačuje vyšší mírou deformace, než je tomu v oblastech zkušebního tělesa mimo tuto oblast, kde je deformace několikanásobně nižší. Například u materiálu ve směru odebrání 90° a deformační rychlosti 1 mm/min, deformace v oblasti krčku dosahuje hodnoty 79,5% a v oblastech mimo krček zhruba hodnoty 4%.

3.5.3 Výsledky měření materiálu č. III

Na následujících obrázcích (*obr. 3.34 a 3.35*) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál III (s pleteninou) a směru odebrání 0°. Obr. 3.36 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál III ve směru odebrání 0°.



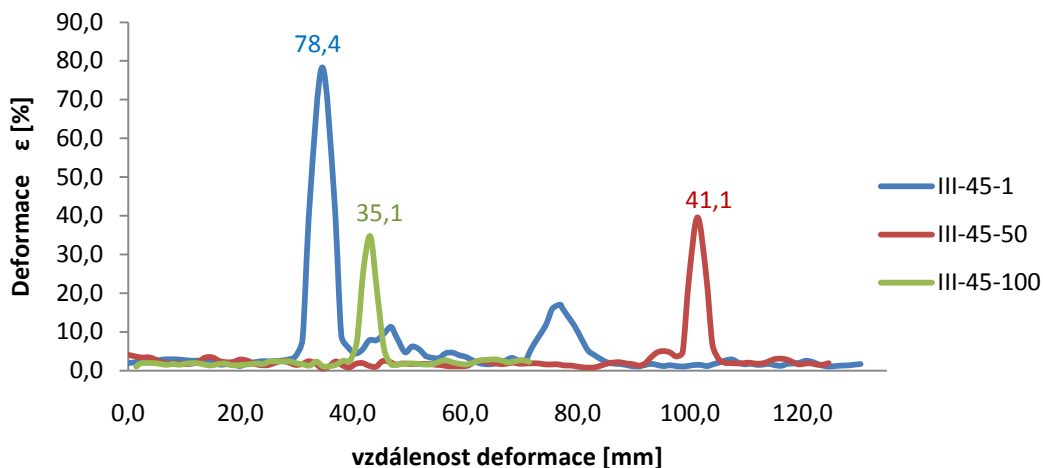
Obr. 3.34 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. III ve směru odebrání 0° , rychlosti $v = 1, 50, 100 \text{ mm/min}$



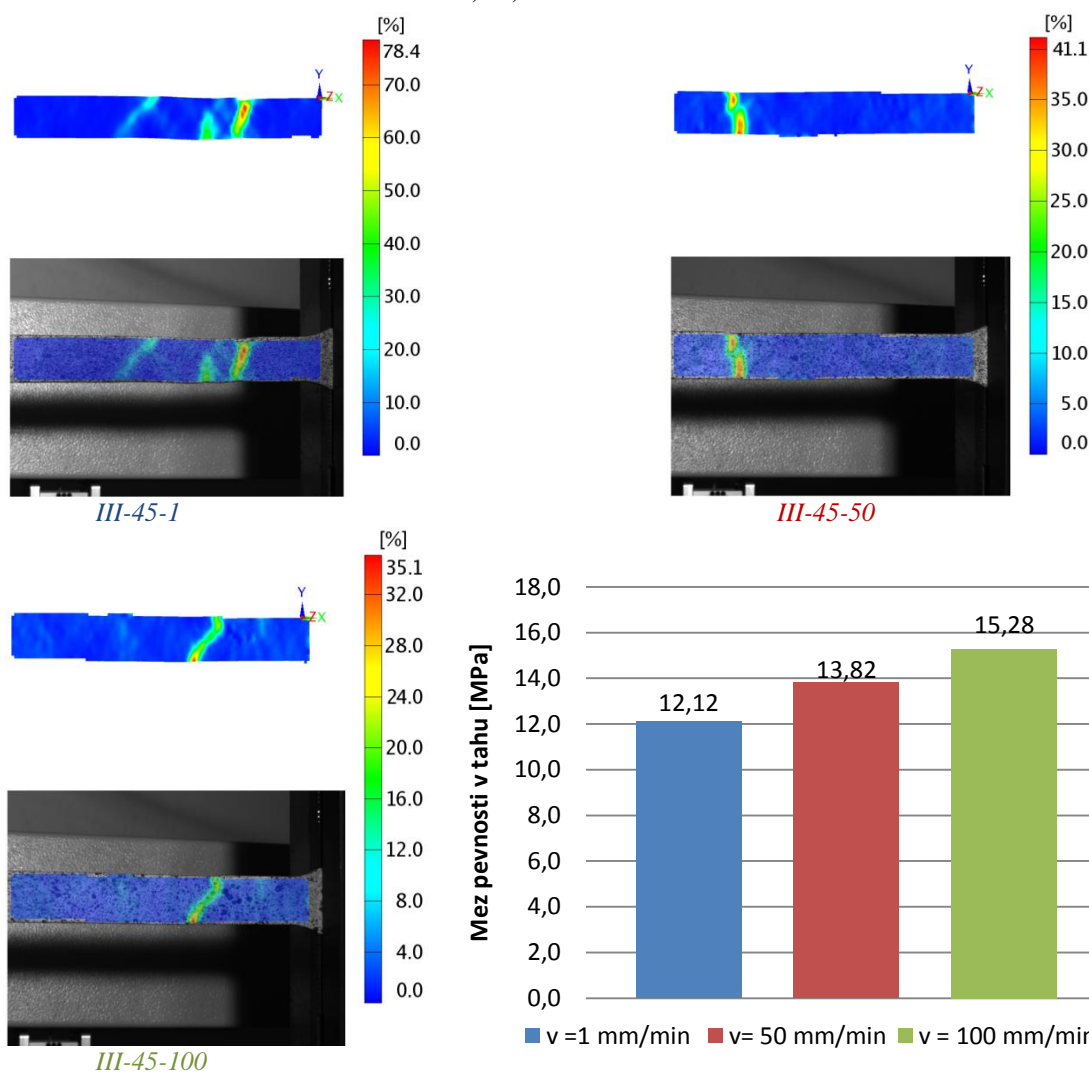
Obr. 3.35 : Rozložení deformace ε

Obr. 3.36 : Mez pevnosti materiálu č. III ve směru odebrání 0°

Na následujících obrázcích (obr. 3.37 a 3.38) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál III (s pleteninou) a směru odebrání 45° . Obr. 3.39 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál III ve směru odebrání 45° .



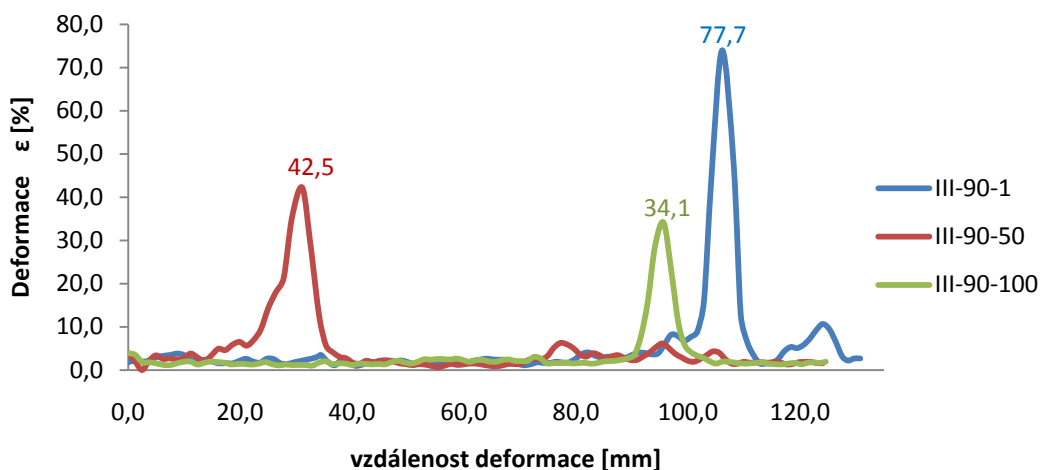
Obr. 3.37 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. III ve směru odebrání 45° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



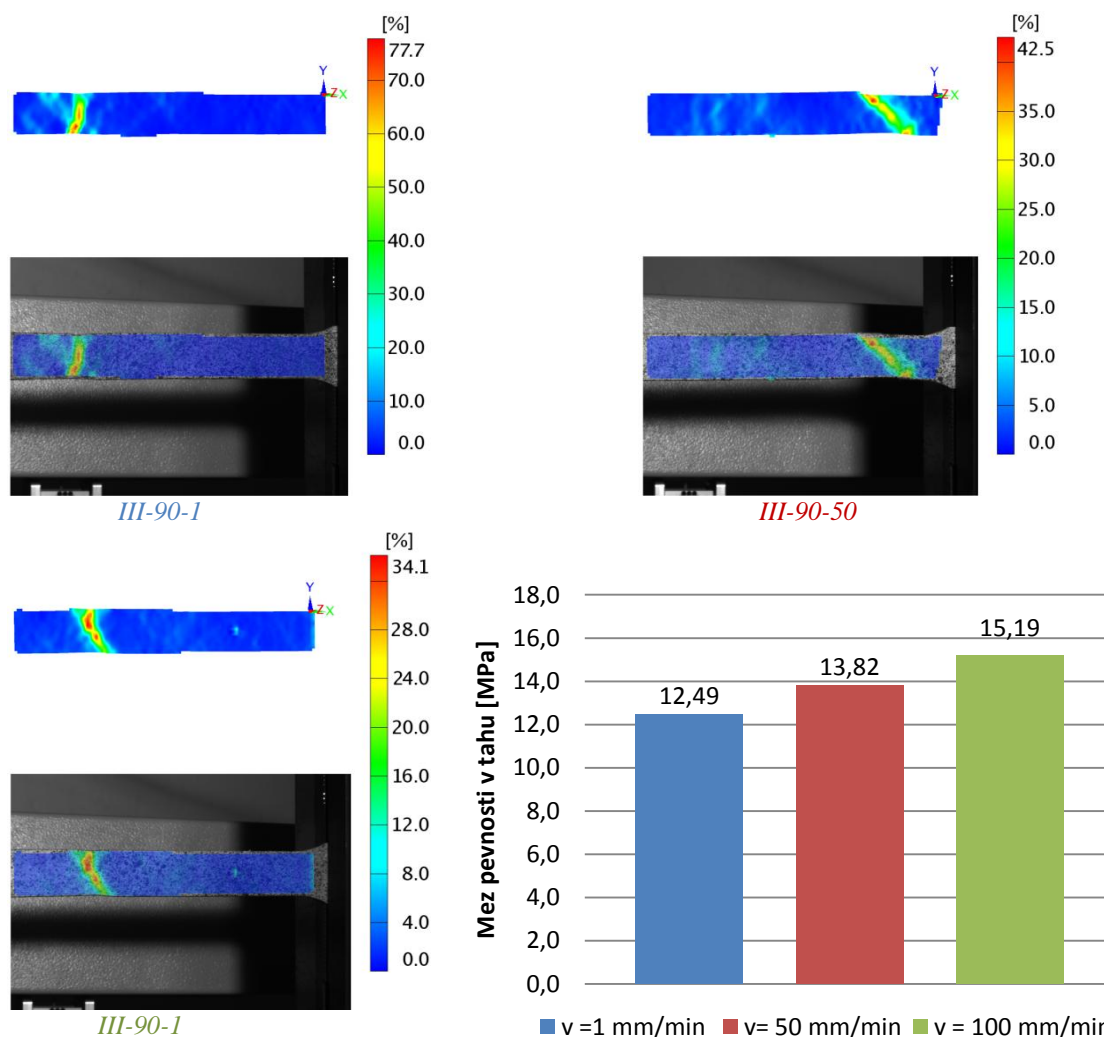
Obr. 3.38 : Rozložení deformace ϵ

Obr. 3.39 : Mez pevnosti materiálu č. III ve směru odebrání 45°

Na následujících obrázcích (obr. 3.40 a 3.41) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál III (s pleteninou) a směru odebrání 90° . Obr. 3.42 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál III ve směru odebrání 90° .



Obr. 3.40 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. III ve směru odebrání 90° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



Obr. 3.41 : Rozložení deformace ε

Obr. 3.42 : Mez pevnosti materiálu č. III ve směru odebrání 90°

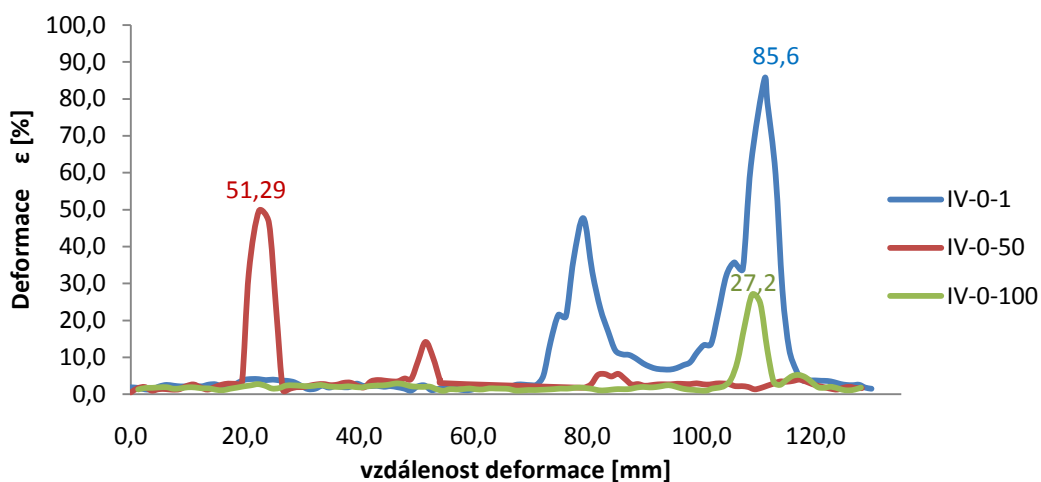


Diskuse výsledků materiálu č. III:

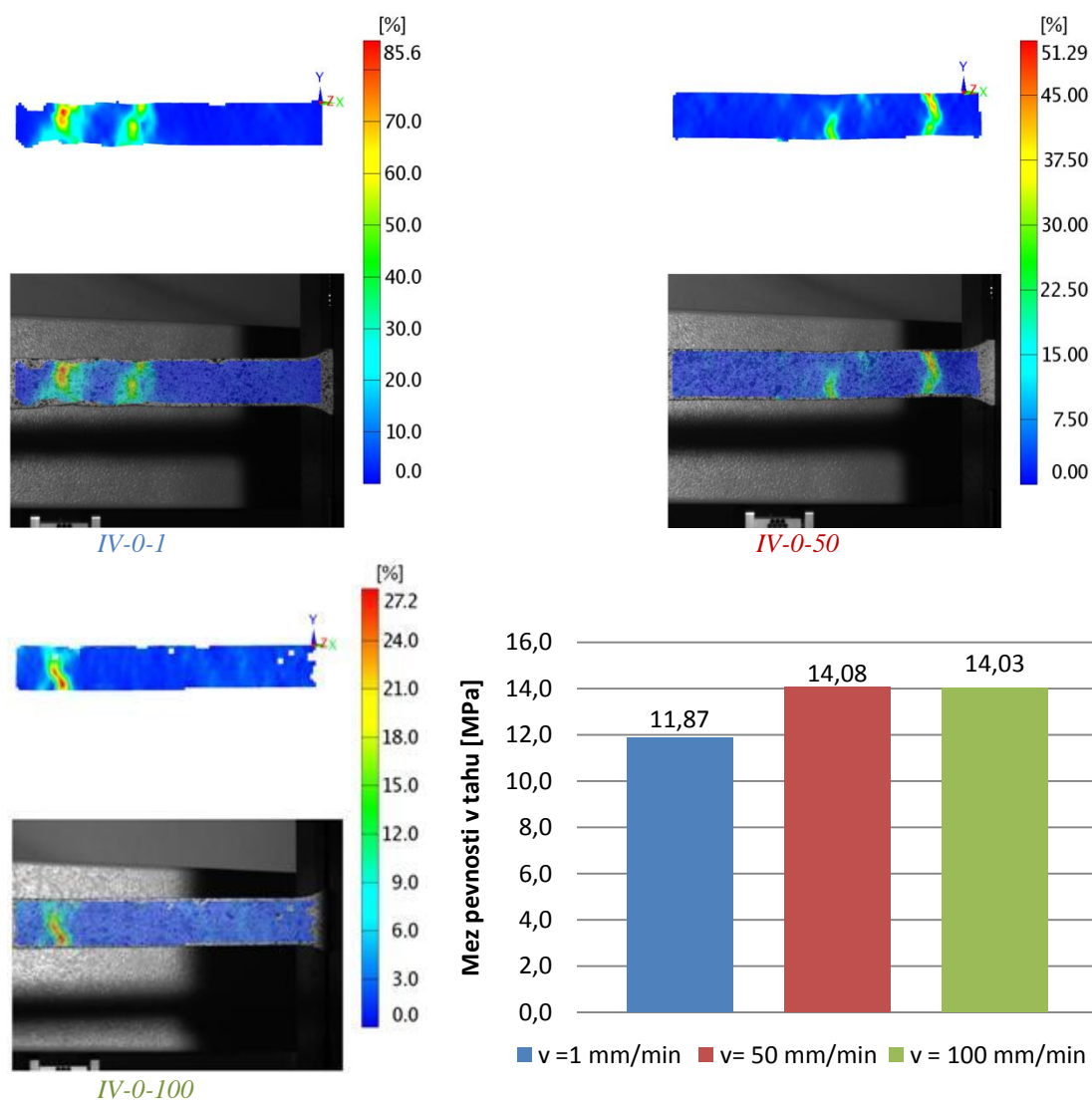
Měřený materiál č. III je na povrchu opatřen pleteninou. Z pořízených naměřených hodnot opět vyplývá, že s rostoucí deformační rychlostí mez pevnosti roste a deformace klesá. Nárůst meze pevnosti při zvýšení deformační rychlosti u tohoto materiálu není tak výrazný, jako u předchozích materiálů a ani maximální přírůstek pevnosti zde není při změně rychlosti z 1 mm/min na 50 mm/min, nýbrž při změně z 50 mm/min na 100 mm/min, konkrétně ve směru odebrání 45°, kde došlo k navýšení meze pevnosti o 1,46 MPa, což odpovídá nárůstu o cca 10%. I zde platí, že největší naměřená deformace byla při rychlosti 1 mm/min a v jednotlivých směrech se deformace příliš nemění. Hodnota deformace se při přechodu z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min zmenšila o více jak 37%, což představuje deformaci ε cca 42%. Pokles hodnoty deformace při změně deformační rychlosti z 50 mm/min na 100 mm/min byl o více než 10%, což představuje deformaci ε cca 32%. Zde se již opět výrazně projevuje vysoká rychlost zatěžování zkušebních těles, kdy nejenom makrostruktura, ale i mikrostruktura vzorku (uspořádaná krystalická fáze matrice oproti přírodním vláknům) nedokáže tak rychle měnit svou konformaci ve vztahu k rychlosti zatěžování. Z grafického rozložení deformace vyplývá, že lokalizovaná oblast krčku se vyznačuje vyšší mírou deformace, než je tomu v oblastech zkušebního tělesa mimo tuto oblast, kde je deformace několikanásobně nižší. Například u materiálu ve směru odebrání 0° a deformační rychlosti 1 mm/min, deformace v oblasti krčku dosahuje hodnoty 80,1% a v oblastech mimo krček zhruba hodnoty 4%.

3.5.4 Výsledky měření materiálu č. IV

Na následujících obrázcích (obr. 3.43 a 3.44) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál IV (s netkanou textilií) a směru odebrání 0°. Obr. 3.45 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti a stejný materiál IV ve směru odebrání 0°.



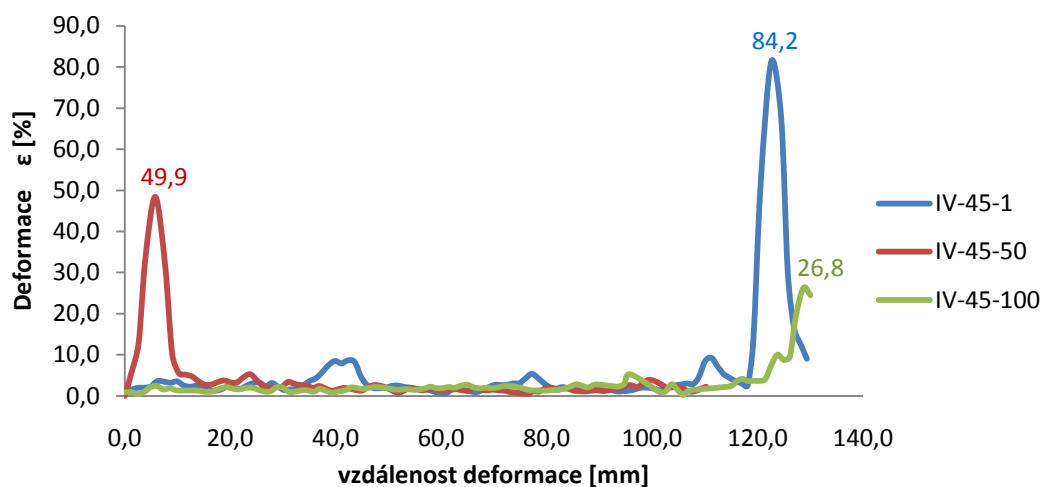
Obr. 3.43 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. IV ve směru odebrání 0°, rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



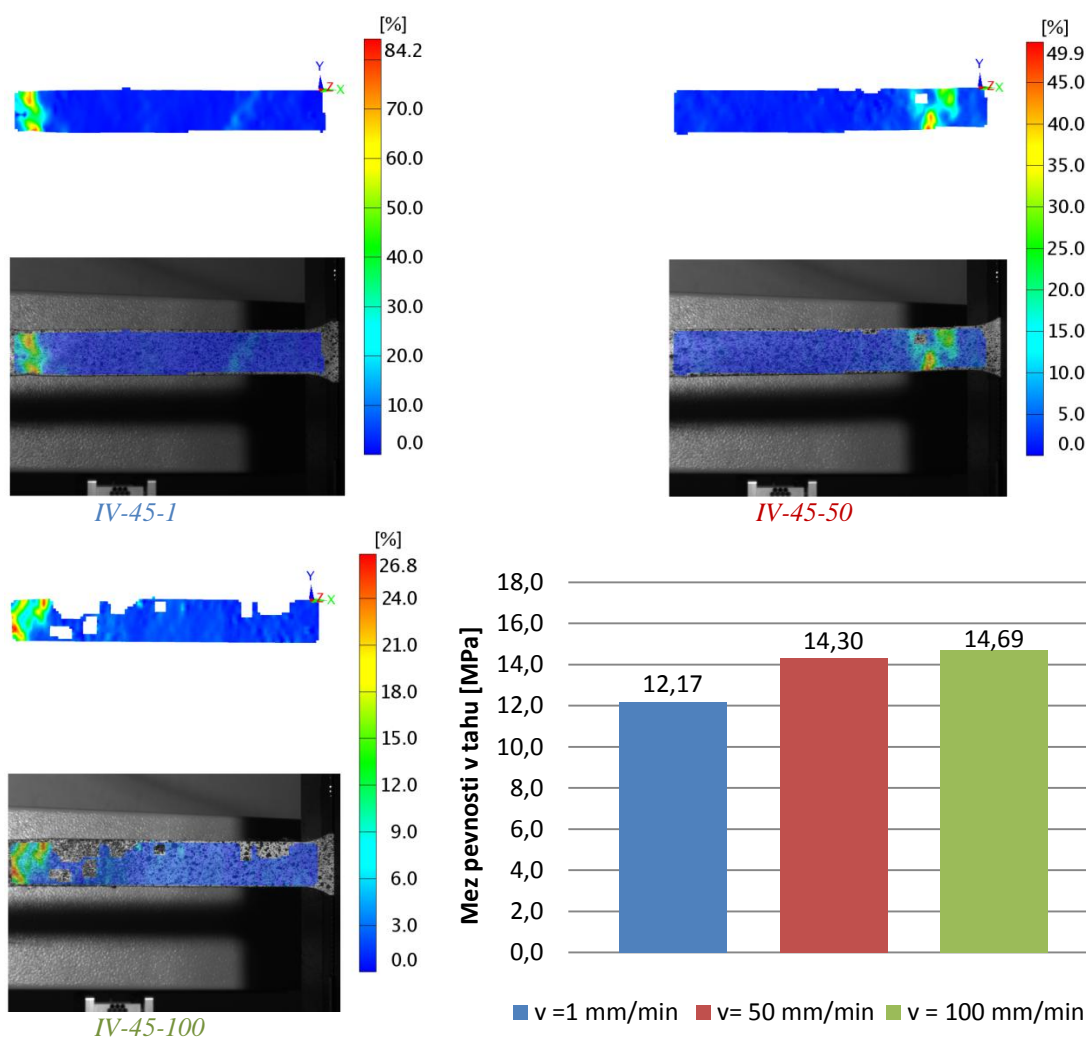
Obr. 3.44 : Rozložení deformace ε

Obr. 3.45 : Mez pevnosti materiálu č. IV ve směru odebrání 0°

Na následujících obrázcích (obr. 3.46, 3.47) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál IV (s netkanou textilií) a směru odebrání 45° . Obr. 3.48 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti, stejný materiál IV ve směru odebrání 45° .



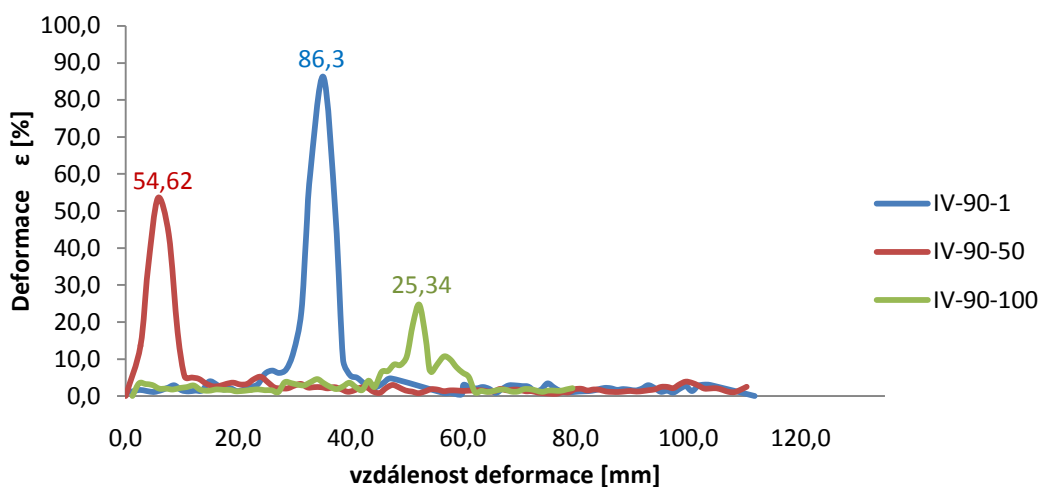
Obr. 3.46 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. IV ve směru odebrání 45° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



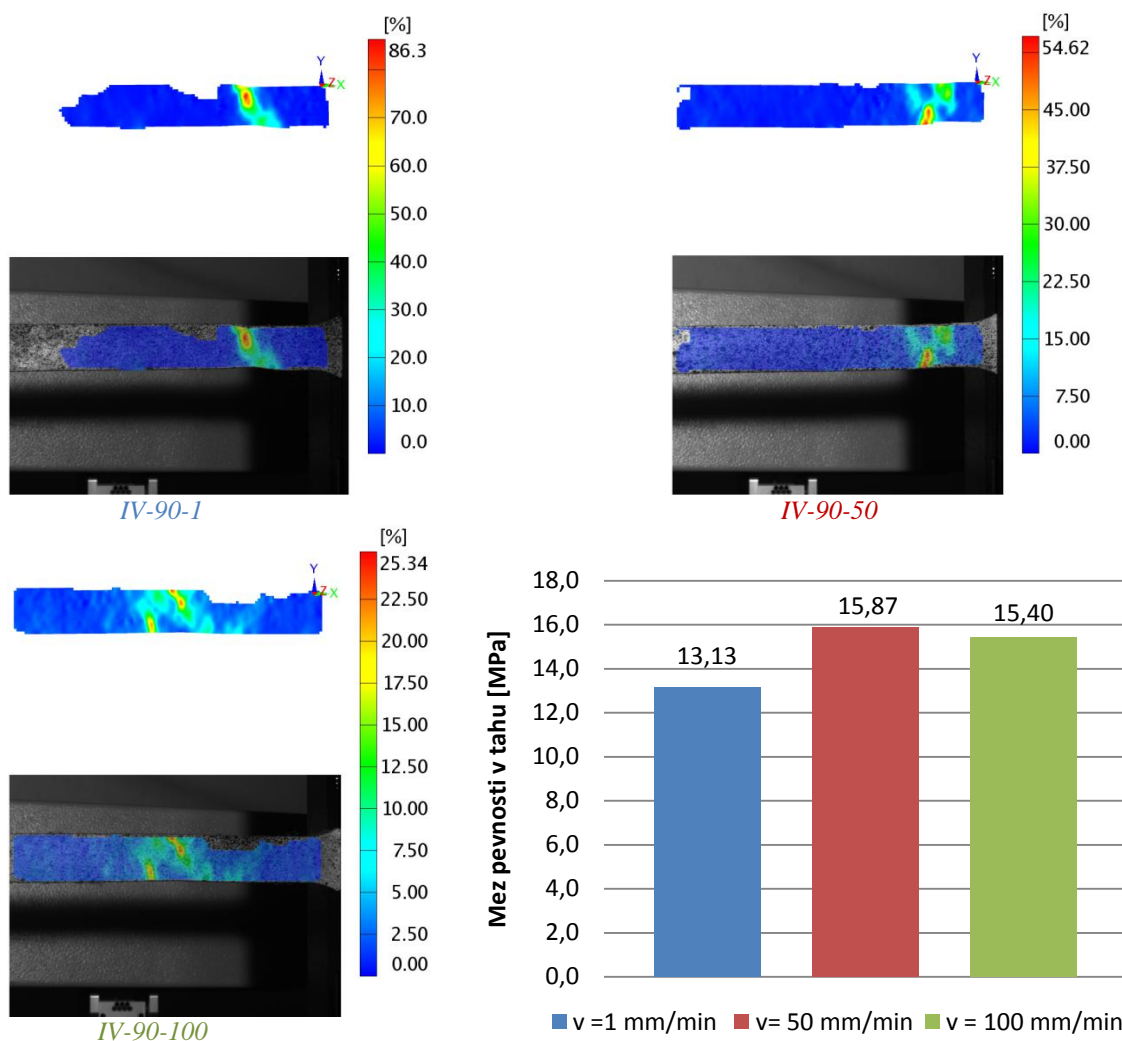
Obr. 3.47 : Rozložení deformace ε

Obr. 3.48 : Mez pevnosti materiálu č. IV ve směru odebrání 45°

Na následujících obrázcích (obr. 3.49, 3.50) jsou uvedeny výsledky rozložení deformace při deformační rychlosti $v = 1, 50$ a 100 mm/min pro materiál IV (s netkanou textilií) a směru odebrání 90° . Obr. 3.51 znázorňuje velikost meze pevnosti pro zvolené deformační rychlosti, stejný materiál IV ve směru odebrání 90° .



Obr. 3.49 : Rozložení deformace při tahovém namáhání materiálu č. IV ve směru odebrání 90° , rychlosti $v = 1, 50, 100$ mm/min



Obr. 3.50 : Rozložení deformace ϵ

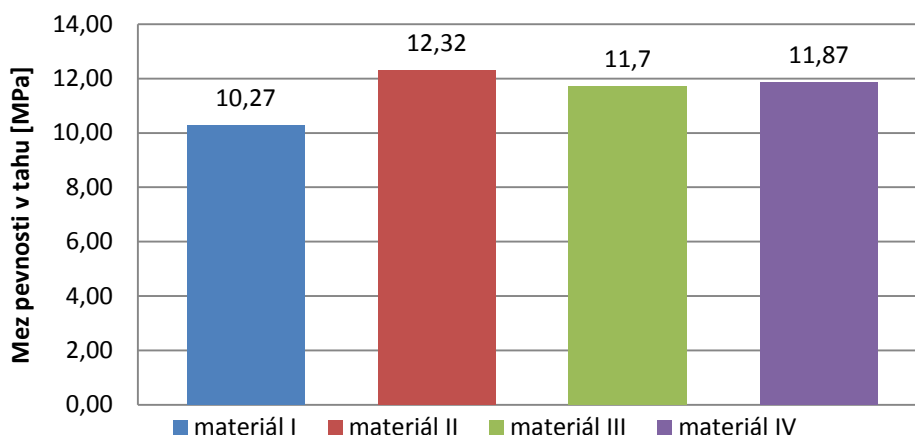
Obr. 3.51 : Mez pevnosti materiálu č. IV ve směru odebrání 90°

Diskuse výsledků materiálu č. IV:

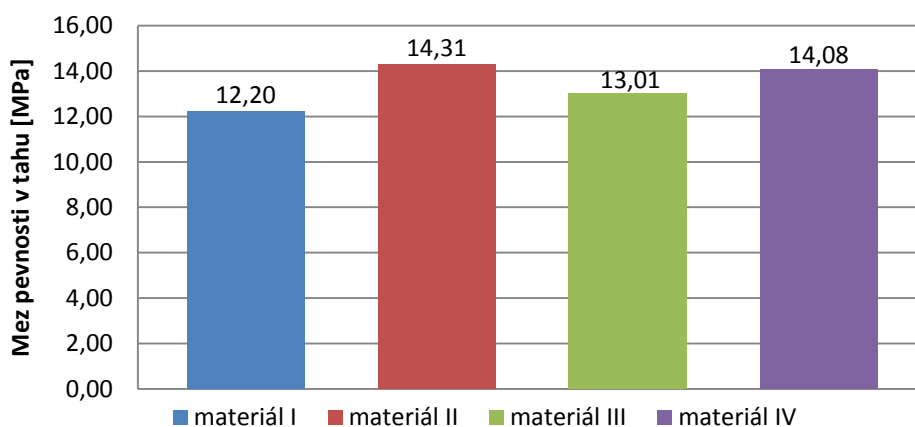
Měřený materiál č. IV je na povrchu opatřen netkanou textilií. Z naměřených hodnot pořízených pro tento materiál, stejně jako u předchozích materiálů vyplývá, že s rostoucí deformační rychlostí mez pevnosti roste a maximální dosažená deformace klesá, která je vyhodnocena před prasknutím zkoušeného vzorku. Pro tento materiál platí, že k největšímu nárůstu meze pevnosti dochází při změně zatížení zkušebního tělesa z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min. Konkrétně ve směru odebrání 90° a při zvětšení z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min, došlo k navýšení meze pevnosti o 2,74 MPa, což odpovídá nárůstu o cca 21%. Při změně rychlosti z 50 mm/min na 100 mm/min není nárůst meze pevnosti tak výrazný, dokonce ve směru odebrání zkušebního vzorku 90° je hodnota meze pevnosti při deformační rychlosti 100 mm/min menší, než při rychlosti 50 mm/min, avšak o hodnotu nepřesahující směrodatnou odchylku. Pro materiál IV opět platí, že největší naměřená deformace byla při rychlosti 1 mm/min a v jednotlivých směrech se příliš neměnila. Hodnota deformace se při přechodu z deformační rychlosti 1 mm/min na 50 mm/min změnila o více jak 33%, což představuje deformaci ε cca 50%. Pokles hodnoty deformace při změně deformační rychlosti z 50 mm/min na 100 mm/min byl o více než 25%, což představuje deformaci ε cca 26%. Zde se již opět výrazně projevuje vysoká rychlost zatěžování zkušebních těles, kdy nejenom makrostruktura, ale i mikrostruktura vzorku (uspořádaná krystalická fáze matrice oproti přírodním vláknům) nedokáže tak rychle měnit svou konformaci ve vztahu k rychlosti zatěžování. Z grafického rozložení deformace vyplývá, že lokalizovaná oblast krčku se vyznačuje vyšší mírou deformace, než je tomu v oblastech zkušebního tělesa mimo tuto oblast, kde je deformace několikanásobně nižší. Například z grafického rozložení deformace pro materiál odebraný ve směru 0° při deformační rychlosti 1 mm/min je možné vypořadovat, že se nejprve vytvářely dva krčky a zhruba po dosažení deformace 50% jednoho z krčků se následně vytvářel pouze jediný, jehož hodnota deformace stoupla na hodnotu 85,6%. V oblastech zkušebního tělesa mimo oblast krčku je hodnota deformace několikanásobně nižší a to zhruba 5%.

3.5.5 Porovnání meze pevnosti jednotlivých materiálů

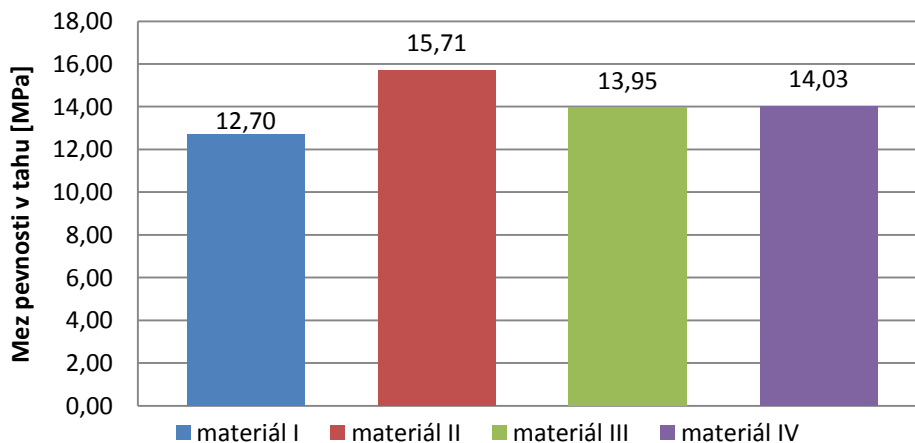
Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty meze pevnosti pro zkoušené materiály (I, II, III a IV) při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve směru odebrání zkušebních vzorků 0°.



Obr. 3.52 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 0°, deformační rychlost 1 mm/min

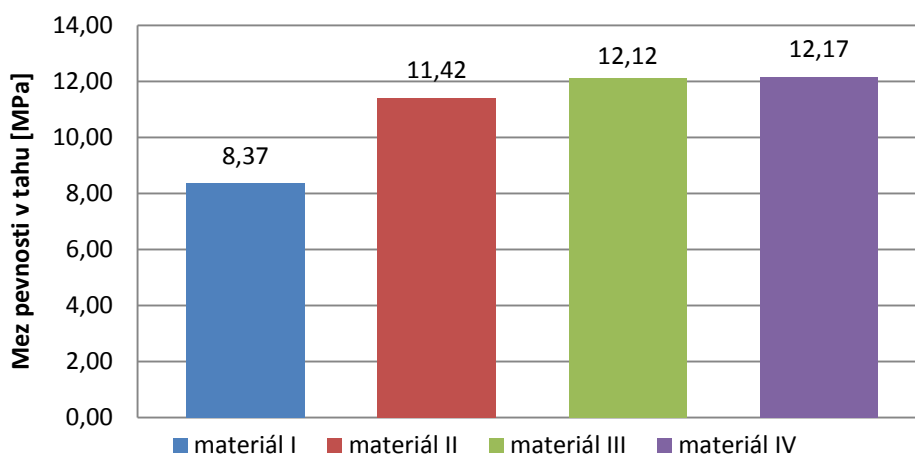


Obr. 3.53 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 0°, deformační rychlost 50 mm/min

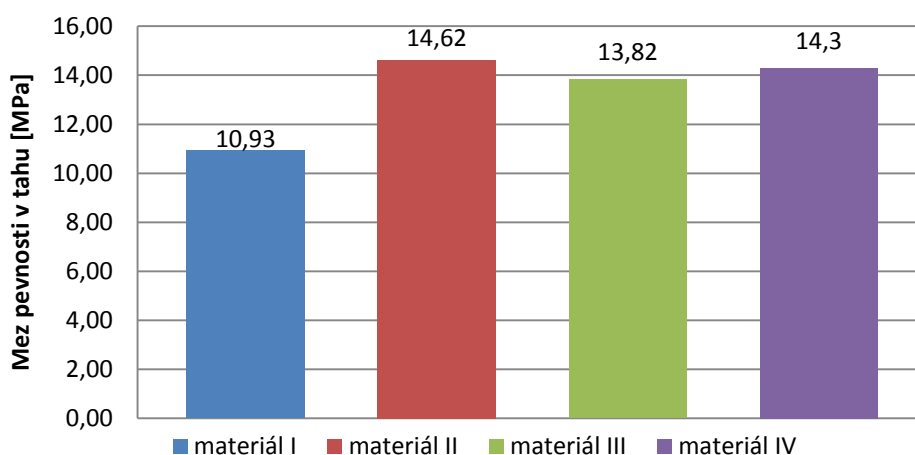


Obr. 3.54 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 0°, deformační rychlost 100 mm/min

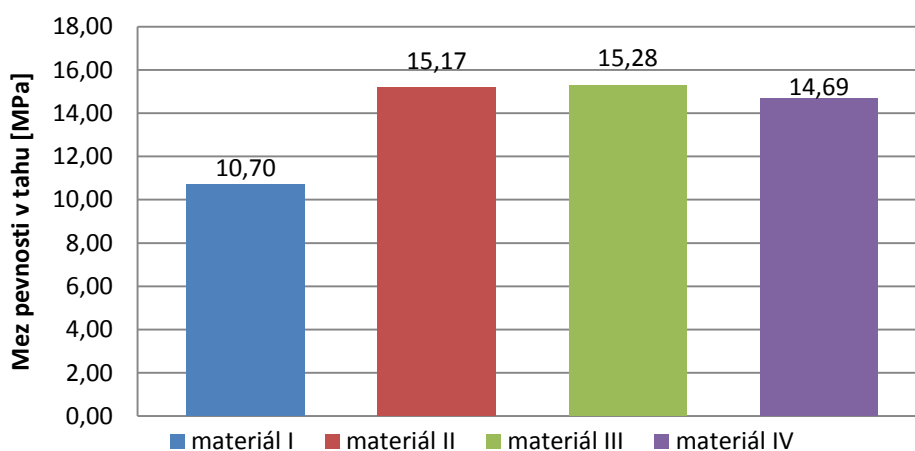
Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty meze pevnosti pro zkoušené materiály (I, II, III a IV) při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve směru odebrání zkušebních vzorků 45°.



Obr. 3.55 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 45°, deformační rychlost 1 mm/min

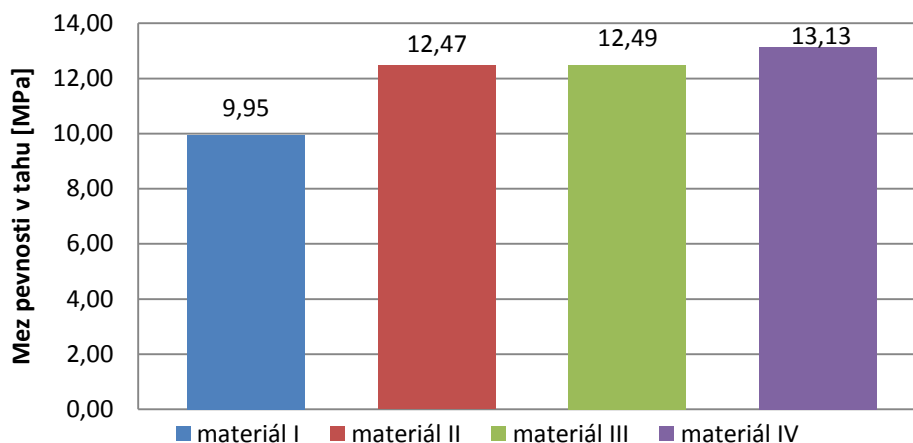


Obr. 3.56 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 45°, deformační rychlost 50 mm/min

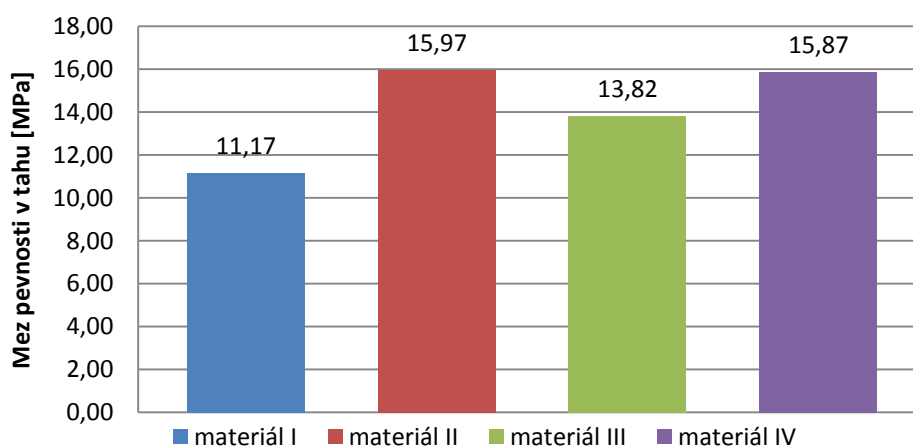


Obr. 3.57 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 45°, deformační rychlost 100 mm/min

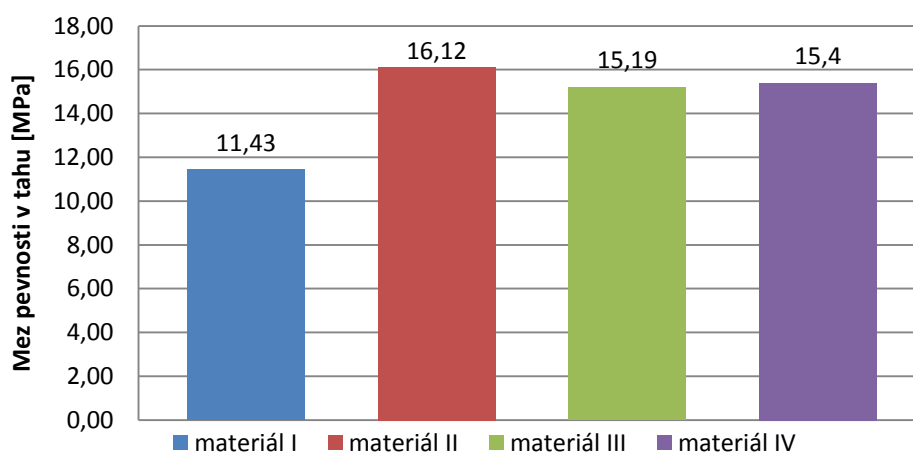
Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty meze pevnosti pro zkoušené materiály (I, II, III a IV) při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve směru odebrání zkušebních vzorků 90°.



Obr. 3.58 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 90°, deformační rychlost 1 mm/min



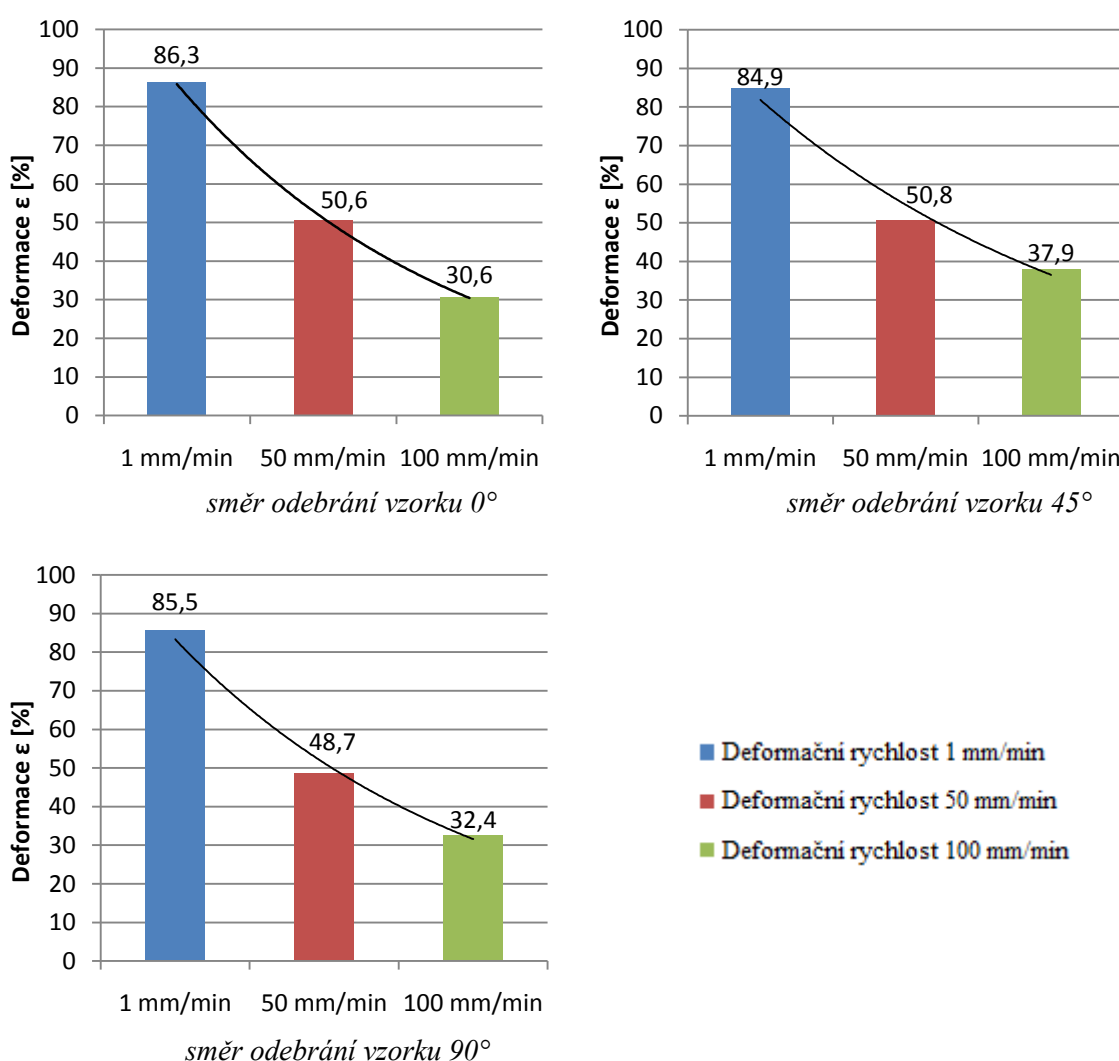
Obr. 3.59 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 90°, deformační rychlost 50 mm/min



Obr. 3.60 : Mez pevnosti zkoušených materiálů ve směru odebrání 90°, deformační rychlost 100 mm/min

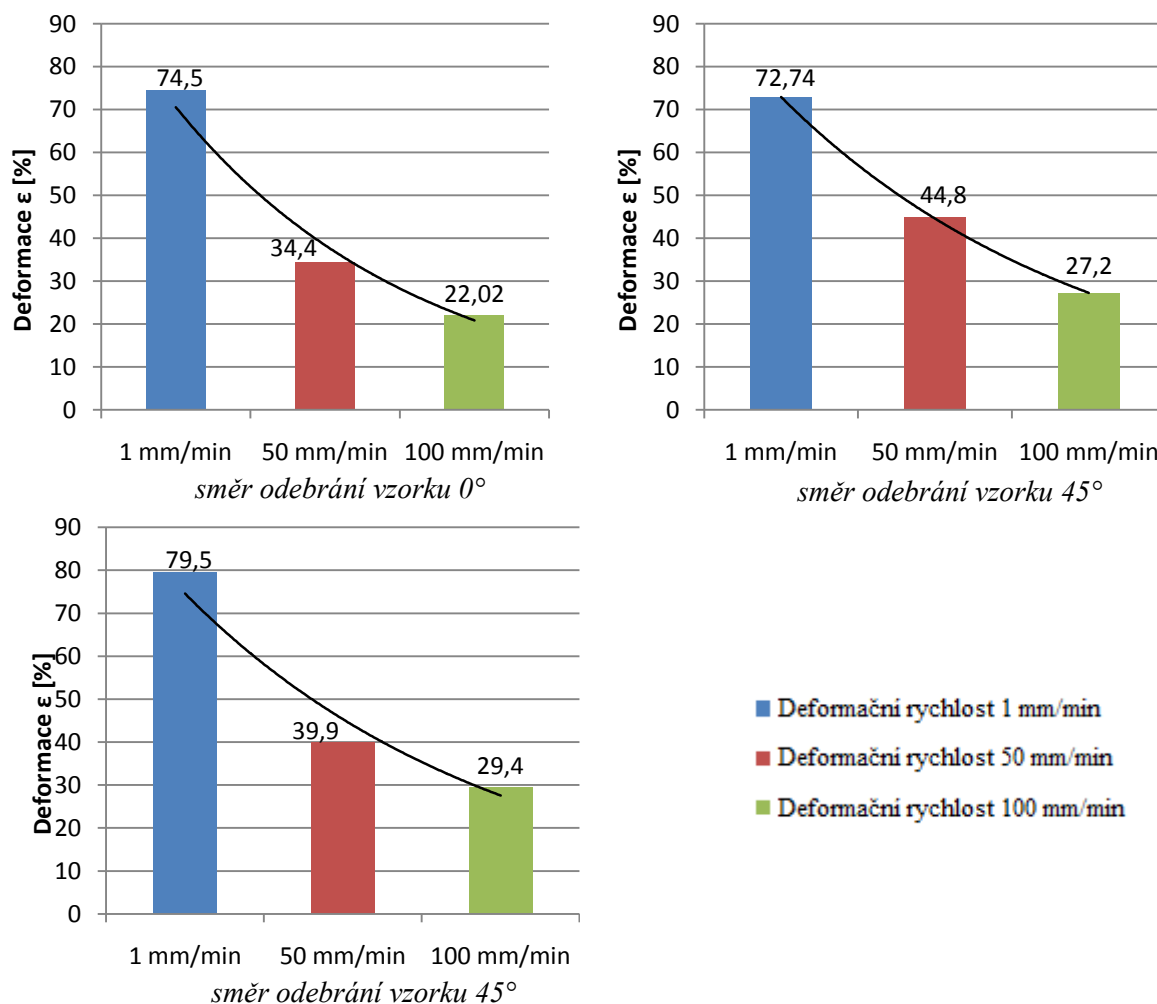
3.5.6 Velikosti deformací zkoušených materiálů

Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty deformace ε [%] pro zkoušený materiál I při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve třech směrech odebrání zkušebních vzorků (0° , 45° a 90°). Aby bylo možné posuzovat velikosti deformace zkoušených materiálů (I, II, III a IV) i při jiných deformačních rychlostech, než jsou zvolené deformační rychlosti (1, 50 a 100 mm/min), jsou v obrázcích vyneseny exponenciální spojnice trendu.



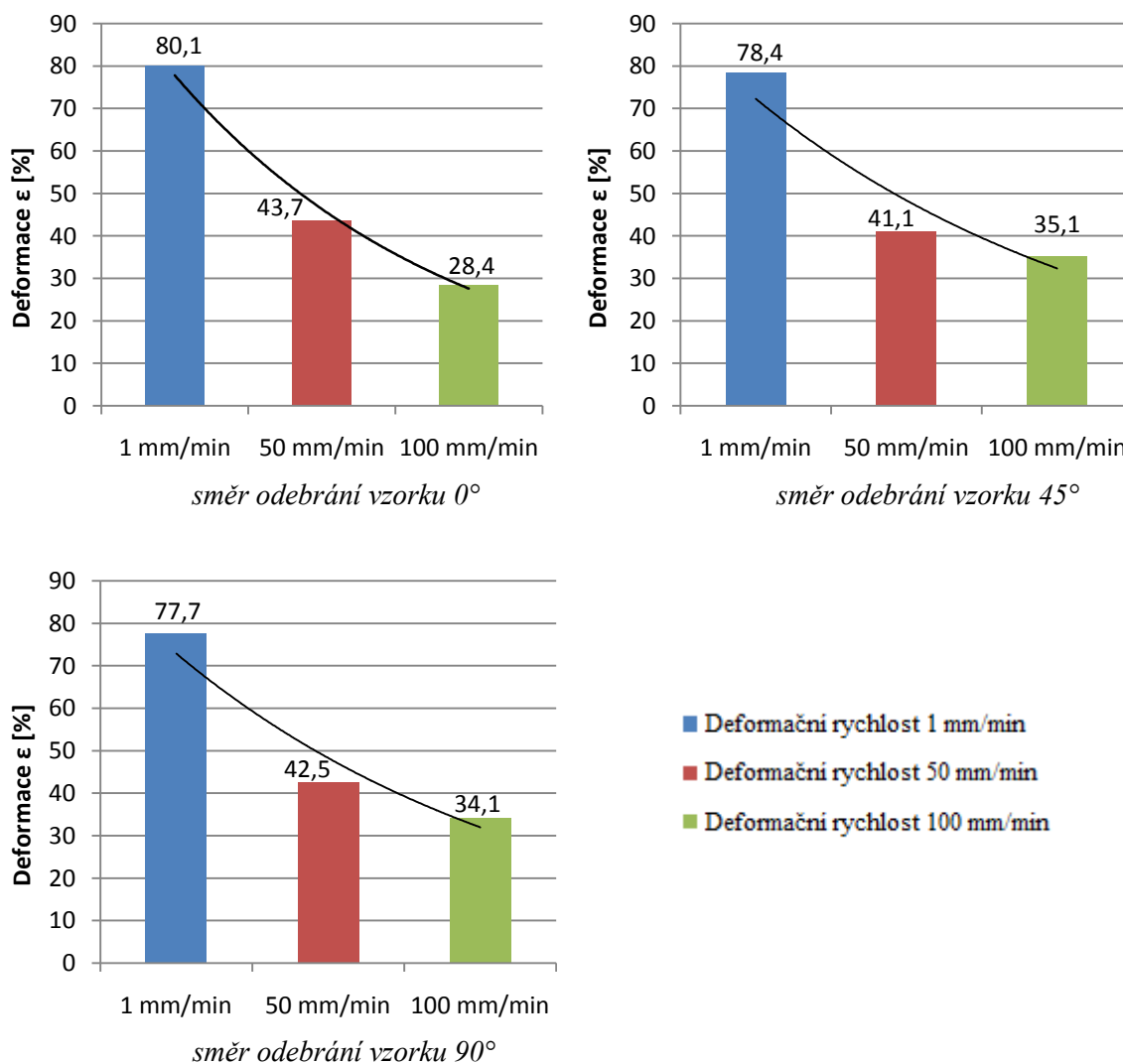
Obr. 3.61 : Velikost deformace ε [%] pro materiál I při různých deformačních rychlostech

Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty deformace ϵ [%] pro zkoušený materiál II při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve třech směrech odebrání zkušebních vzorků (0° , 45° a 90°).



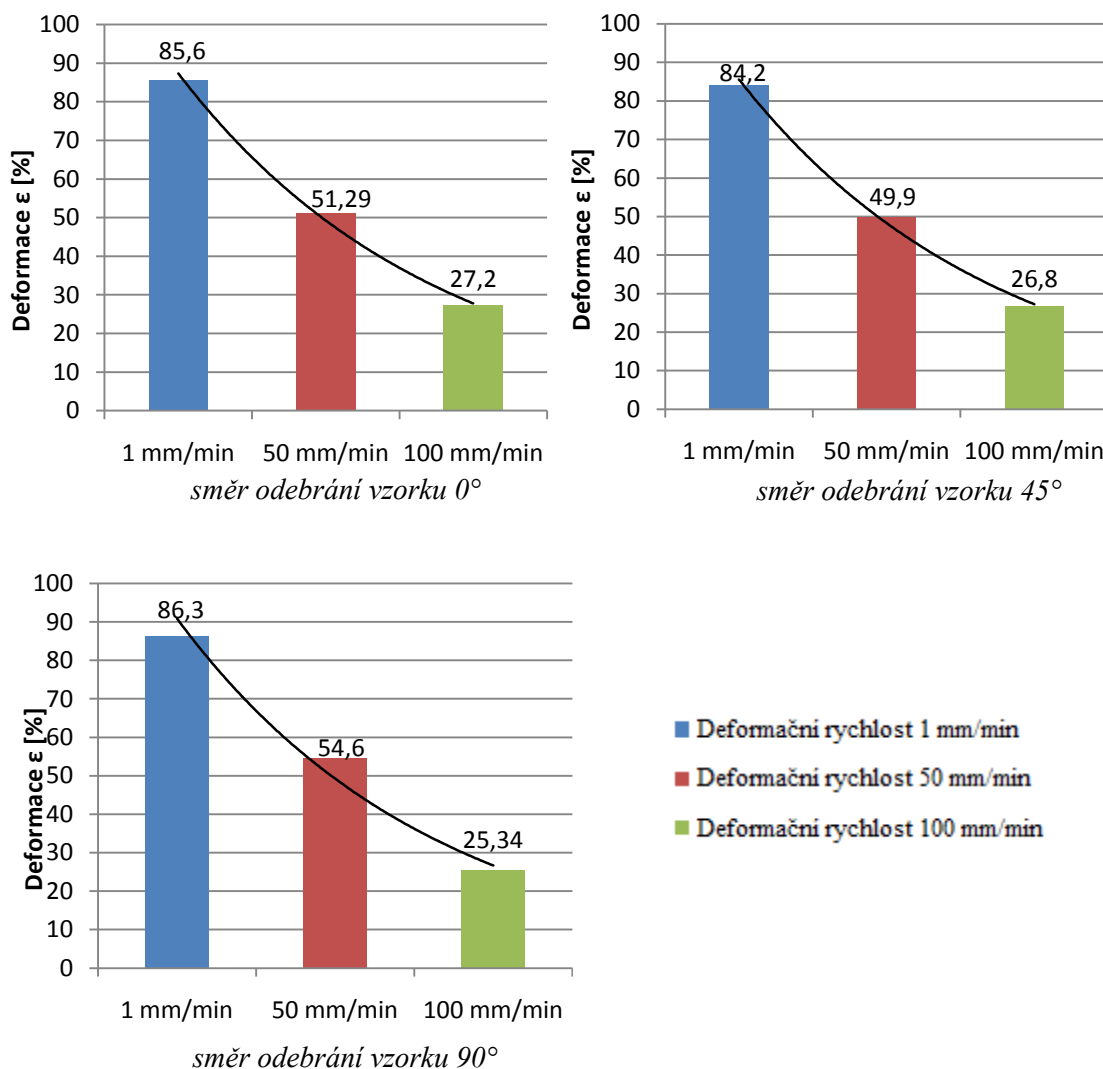
Obr. 3.62 : Velikost deformace ϵ [%] pro materiál II při různých deformačních rychlostech

Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty deformace ϵ [%] pro zkoušený materiál III při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve třech směrech odebrání zkušebních vzorků (0° , 45° a 90°).



Obr. 3.63 : Velikost deformace ϵ [%] pro materiál III při různých deformačních rychlostech

Na následujících obrázcích jsou uvedeny hodnoty deformace ε [%] pro zkoušený materiál IV při třech zvolených deformačních rychlostech (1, 50 a 100 mm/min) ve třech směrech odebrání zkušebních vzorků (0° , 45° a 90°).



Obr. 3.64 : Velikost deformace ε [%] pro materiál IV při různých deformačních rychlostech



4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Všechny měřené materiály vykazovaly největší hodnoty deformace při deformační rychlosti 1 mm/min. Se vzrůstající deformační rychlostí deformace klesala. Konkrétně při použití nejmenší (1 mm/min) deformační rychlosti, byla naměřena maximální deformace, tedy deformace v oblasti krčku 86,3%, při zvětšení rychlosti na 100 mm/min byla naměřena hodnota maximální deformace 25,34% takovýto pokles byl naměřen u materiálu č. IV ve směru odebrání vzorku 90°. U zbylých materiálů byl pokles deformace zhruba o hodnotu 50%. Z grafického rozložení deformace je však zřejmé že takovéto hodnoty jsou pouze v místech, kde dojde k přetržení. Ve zbývajících oblastech zkušebních vzorků se hodnota deformace pohybuje zhruba do 7%, přičemž opět platí, že s vyšší rychlostí tato hodnota klesá. Stejně jako deformace, tak i mez pevnosti zkoušených materiálů je závislá na velikosti deformační rychlosti. Platí, že se vzrůstající deformační rychlostí stoupá hodnota meze pevnosti v tahu, přičemž největší nárůst lze pozorovat při změně deformační rychlosti z 1 mm/min na 50 mm/min. V případě zvýšení rychlosti z 50 mm/min na 100 mm/min byl naměřen maximální nárůst meze pevnosti u materiálu č. II a III. Konkrétně materiál II ve směru 0° o hodnotu 1,4 MPa a materiál III ve směru 45° o hodnotu 1,46 MPa, což odpovídá nárůstu o cca 11%. U ostatních materiálů se nárůst meze pevnosti pohyboval do 1 MPa, přičemž hodnota směrodatné odchylky meze pevnosti se pohybuje přibližně 1 MPa. Ze srovnání pevností jednotlivých materiálů ve třech směrech a rychlostech vyplývá, že nejmenší mez pevnosti vykazuje materiál č. I, tedy materiál, který není na povrchu opatřen textilií.



5. ZÁVĚR

Tato práce měla za cíl stanovit vliv rychlosti deformace na mechanické vlastnosti PP desek s přírodními plnivý a rozložení deformace na dodaných materiálech opatřených různou povrchovou vrstvou při tahovém namáhání za použití bezkontaktního měřicího zařízení Aramis.

V teoretické části jsem se nejprve zabýval popisem a rozdělením polymerních materiálu a kompozitů. V návaznosti na kompozitní materiály a jejich plniva byly v teoretické části uvedeny vlastnosti přírodních vláken, zkoušeného materiálu LoPreFin a příklady využití přírodních vláken v automobilovém průmyslu. Dále jsem se zabýval popisem mechanických vlastností polymerních materiálů a jejich viskoelastickým chováním.

V praktické části diplomové práce byla uvedena technologie výroby zkoušeného materiálu LoPreFin, výroba zkušebních těles pro tahovou zkoušku z dodaných desek. Dále byla popsána realizace tahové zkoušky a charakteristika měřicího systému Aramis včetně nutné úpravy povrchu zkušebních těles, uspořádání měřicího stanoviště a popis principu měření tímto systémem. Poté byla z tahové zkoušky vyhodnocena mez pevnosti pro všechny dodané materiály (I, II, III a IV), směry odebrání vzorků (0° , 45° a 90°) a rychlosti zatěžování (1, 50 a 100 mm/min). Pomocí optického měřicího systému bylo zjištěno rozložení deformace na zkušebních tělesech a byly vyhodnoceny hodnoty deformací před přetržením zkušebních vzorků.

Na základě zjištěných výsledků lze pro tvarovací procesy těchto zkoušených PP desek s přírodními vlákny doporučit následující:

1. používat malé deformační rychlosti, jelikož velikost maximální možné deformace je závislá na rychlosti zatěžování,
2. u všech zkoušených materiálů platí, že se vzrůstající deformační rychlostí klesá hodnota deformace,
3. s ohledem na povrchovou vrstvu bylo dosaženo maximální hodnoty deformace u materiálu, který nebyl na povrchu opatřen textilií a materiálu, který je na povrchu opatřen netkanou textilií,
4. použití malých deformačních rychlostí má kladný vliv i na velikost potřebné síly pro dosažení požadovaného tvaru při tvarovacích procesech těchto zkoušených materiálů.



6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, P.: *Technologie II. – část 2. Zpracování plastů*. Liberec: TU v Liberci 2005. ISBN 80-7372-037-X.
- [2] KREBS, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: TU v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [3] LENFELD, P.: *Strojírenská technologie - vybrané prezentace*. TU v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-326-2.
- [4] KRATOCHVÍL, B. – ŠVORČÍK, V. – VOJTĚCH, D.: *Úvod do studia materiálů*. VŠCHT Praha, 2005. ISBN 80-7080-569-4.
- [5] BAREŠ, A. R.: *Kompozitní materiály*. SNTL Praha, 1988.
- [6] < www.irsm.cas.cz > (březen 2009)
- [7] < www.modding.cz > (duben 2009)
- [8] AGARWAL, B.: *Vláknové kompozity*. SNTL Praha, 1987
- [9] < www.ippc.cz > (březen 2009)
- [10] KREBSOVÁ, M.: *Nauka o polymerech*. TUL, Liberec 1978
- [11] < www.uni-kassel.de > (únor 2009)
- [12] < www.riko.net > (březen 2009)
- [13] < www.kythuatchatdeocaosu.com > (únor 2009)
- [14] < www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf > (duben 2009)
- [15] < www.rstechnik.cz > (únor 2009)
- [16] < www.rempo.net > (březen 2009)
- [17] < www.rstechnik.de > (únor 2009)
- [18] < www.multivacindia.com > (březen 2009)
- [19] RYBNÍKÁŘ, F.: *Analýza a zkoušení plastických hmot*. SNTL Praha, 1965.
- [20] < www.jialin.com > (únor 2009)
- [21] ČSN EN ISO 527
- [22] < www.ksp.tul.cz > (duben 2009)



7. SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1

Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-0-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-0-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-0-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-45-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-45-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-45-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-90-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-90-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: I-90-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-0-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-0-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-0-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-45-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-45-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-45-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-90-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-90-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-90-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-0-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-0-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-0-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: II-45-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-45-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-45-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-90-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-90-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: III-90-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-0-1
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-0-50
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-0-100
Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-45-1



Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-45-50

Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-45-100

Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-90-1

Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-90-50

Protokol ze statické zkoušky tahem pro zkušební vzorek: IV-90-100



STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1 mm/min

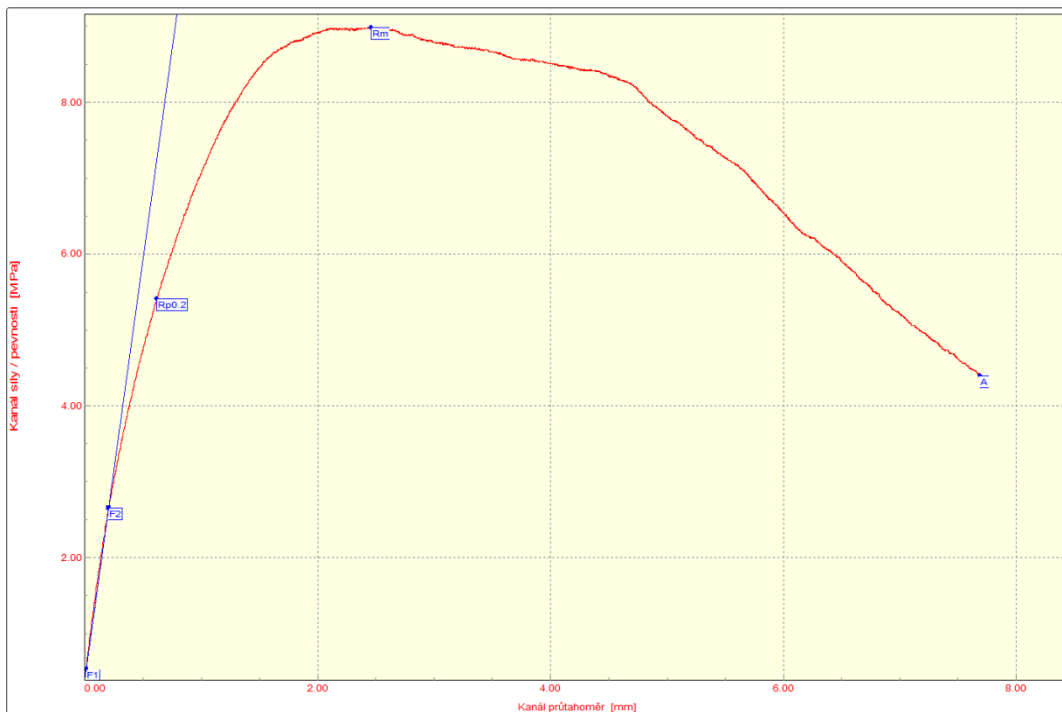
Směr odebrání vzorku: : 0°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	486.70	8.99	9.15
2	596.20	11.60	9.69
3	564.60	10.32	8.73
4	554.50	10.14	9.43
5	521.00	10.32	9.05

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	544.60	10.27	9.21
Směrodatná odchylka	42.04	0.93	0.37
Minimální hodnota	486.70	8.99	8.73
Maximální hodnota	596.20	11.60	9.69





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

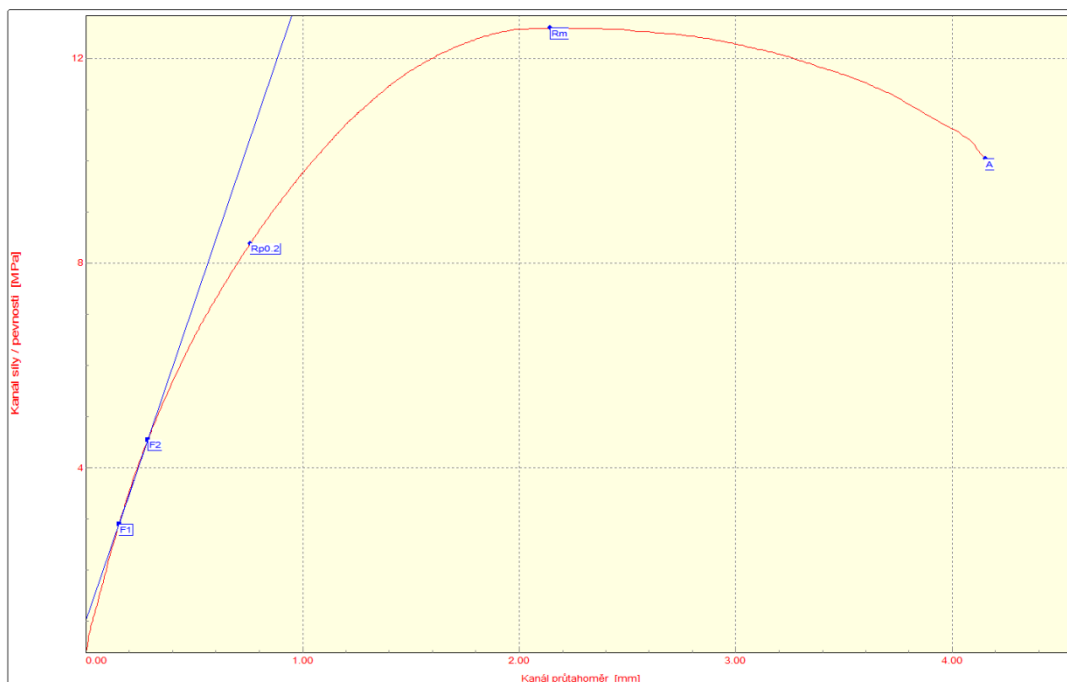
Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50 mm/min
Směr odebrání vzorku : 0°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	649.30	12.31	4.38
2	665.90	12.62	4.11
3	604.70	11.22	4.29
4	683.50	12.59	4.28
5	643.40	12.25	4.09

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	649.36	12.20	4.23
Směrodatná odchylka	29.45	0.57	0.12
Minimální hodnota	604.70	11.22	4.09
Maximální hodnota	683.50	12.62	4.38





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100 mm/min

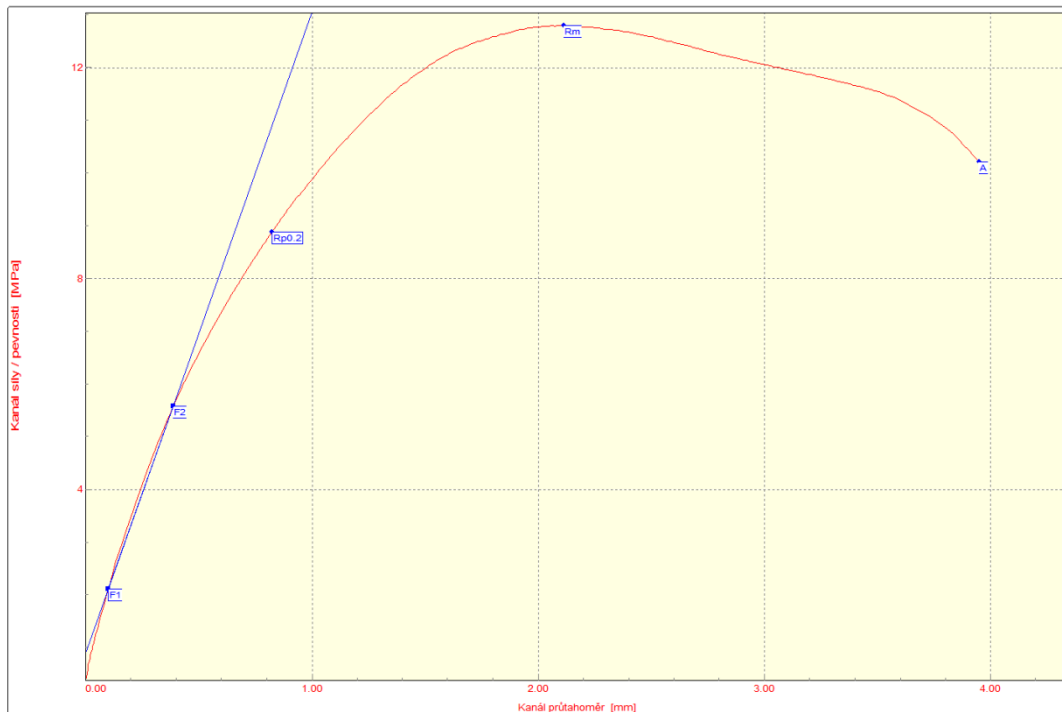
Směr odebrání vzorku : 0°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	643.30	11.59	3.87
2	702.30	12.79	3.97
3	655.60	12.49	3.10
4	636.20	12.74	4.01
5	712.50	13.91	3.98

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	669.98	12.70	3.79
Směrodatná odchylka	30.49	0.83	0.39
Minimální hodnota	643.30	11.59	3.10
Maximální hodnota	712.50	13.91	4.01





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1 mm/min

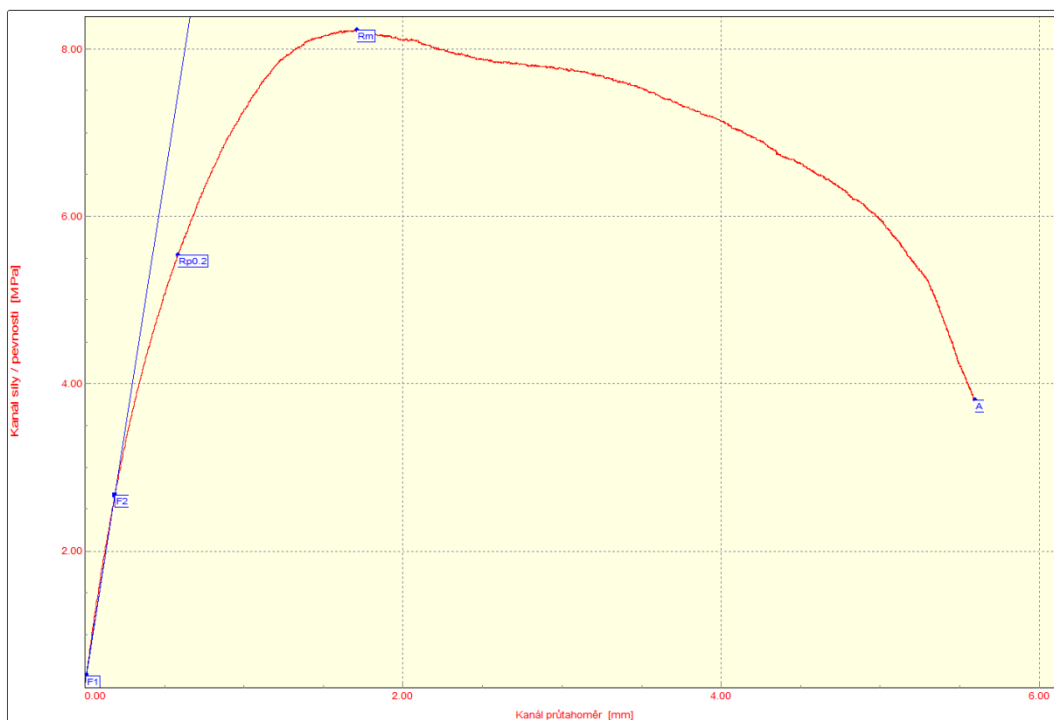
Směr odebrání vzorku : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	502.40	9.35	6.77
2	464.60	8.23	6.64
3	481.20	8.51	6.07
4	433.50	7.93	6.26
5	434.90	7.82	5.89

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	463.32	8.37	6.33
Směrodatná odchylka	29.77	0.61	0.37
Minimální hodnota	433.50	7.82	5.89
Maximální hodnota	502.40	9.35	6.77





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdosik

Rychlost zatěžování: : 50 mm/min

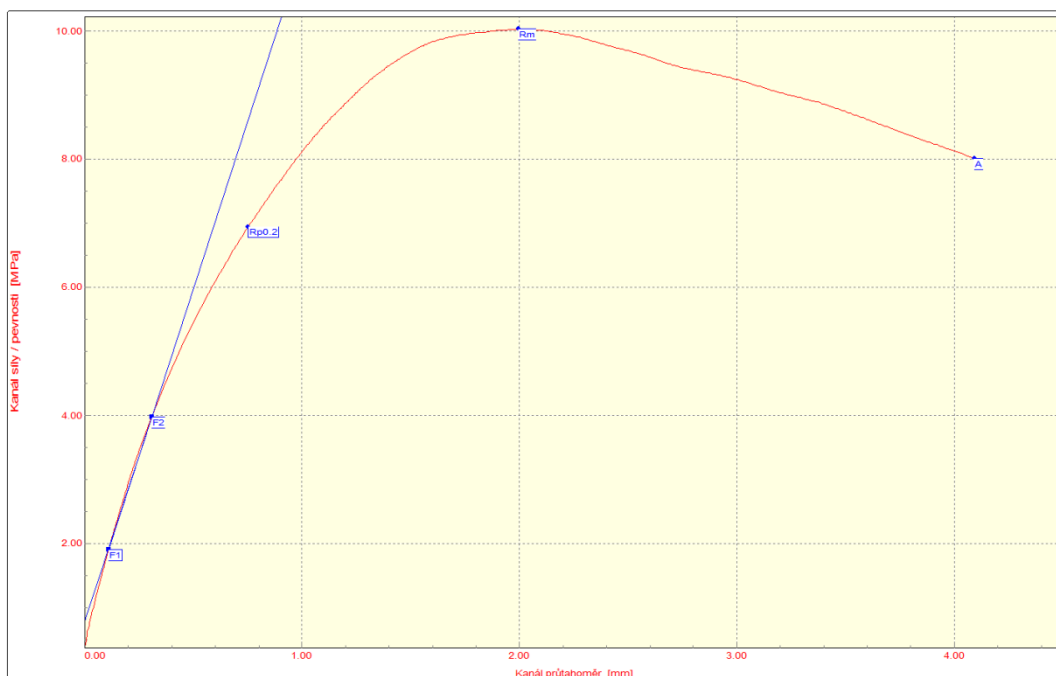
Směr odebrání vzorku : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	561.20	10.03	4.25
2	635.50	11.49	4.06
3	708.10	12.25	3.37
4	558.30	10.36	4.20
5	594.50	10.54	3.67

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	611.52	10.93	3.91
Směrodatná odchylka	62.36	0.92	0.38
Minimální hodnota	558.30	10.03	3.37
Maximální hodnota	708.10	12.25	4.25





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100 mm/min

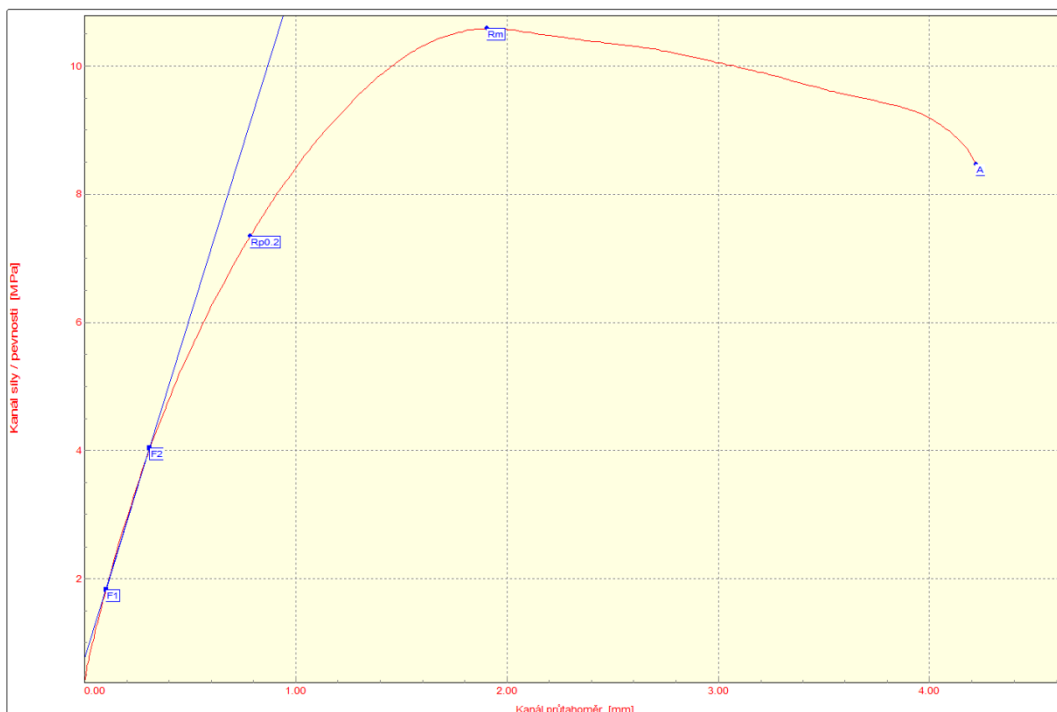
Směr odebrání vzorku : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	654.90	12.24	4.69
2	590.30	10.58	4.36
3	548.60	9.99	5.42
4	556.50	10.21	3.94
5	592.40	10.48	4.62

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	588.54	10.70	4.61
Směrodatná odchylka	41.96	0.89	0.54
Minimální hodnota	548.60	9.99	3.94
Maximální hodnota	654.90	12.24	5.42





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1 mm/min

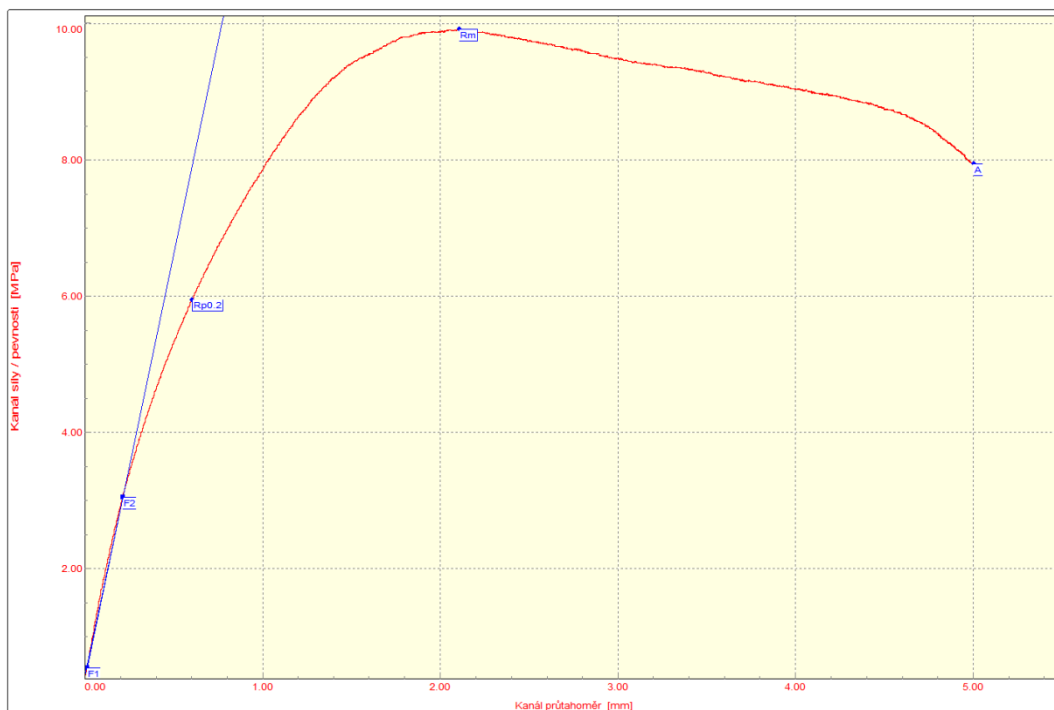
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	581.00	10.46	4.64
2	531.60	9.92	5.50
3	531.00	9.93	4.72
4	494.10	9.34	5.63
5	534.20	10.09	4.11

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	534.38	9.95	4.92
Směrodatná odchylka	30.88	0.41	0.64
Minimální hodnota	494.10	9.34	4.11
Maximální hodnota	581.00	10.46	5.63





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50 mm/min

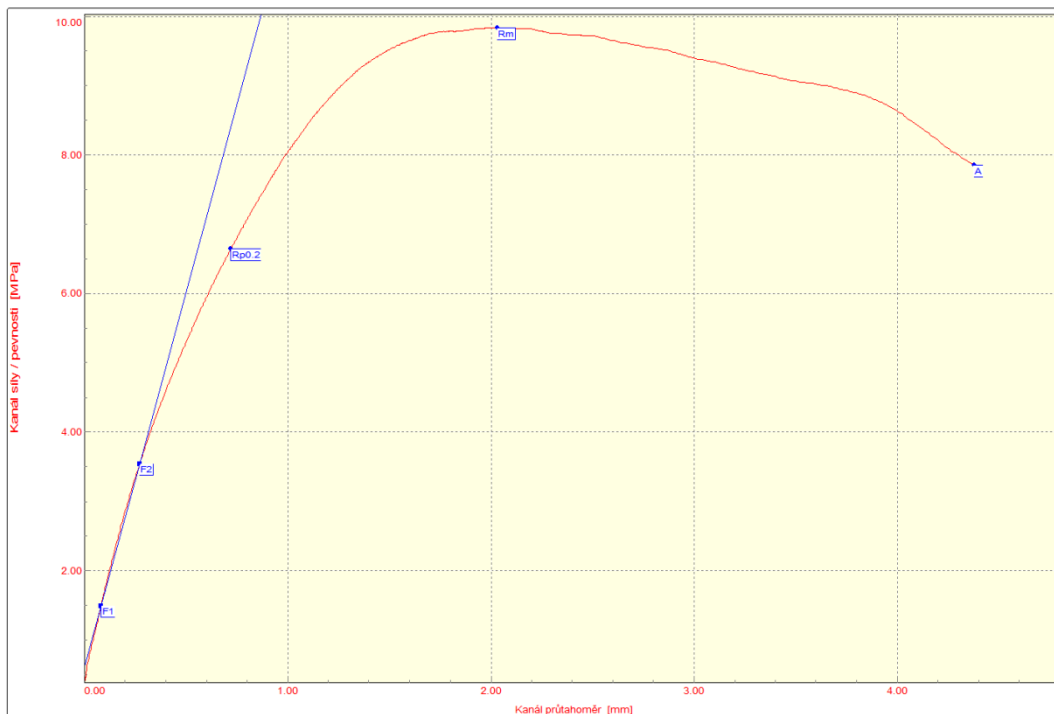
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	607.10	10.92	5.12
2	540.00	9.84	4.63
3	641.30	11.67	4.15
4	638.20	11.28	4.75
5	658.10	12.13	4.44

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	616.94	11.17	4.62
Směrodatná odchylka	46.79	0.87	0.36
Minimální hodnota	540.00	9.84	4.15
Maximální hodnota	658.10	12.13	5.12





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

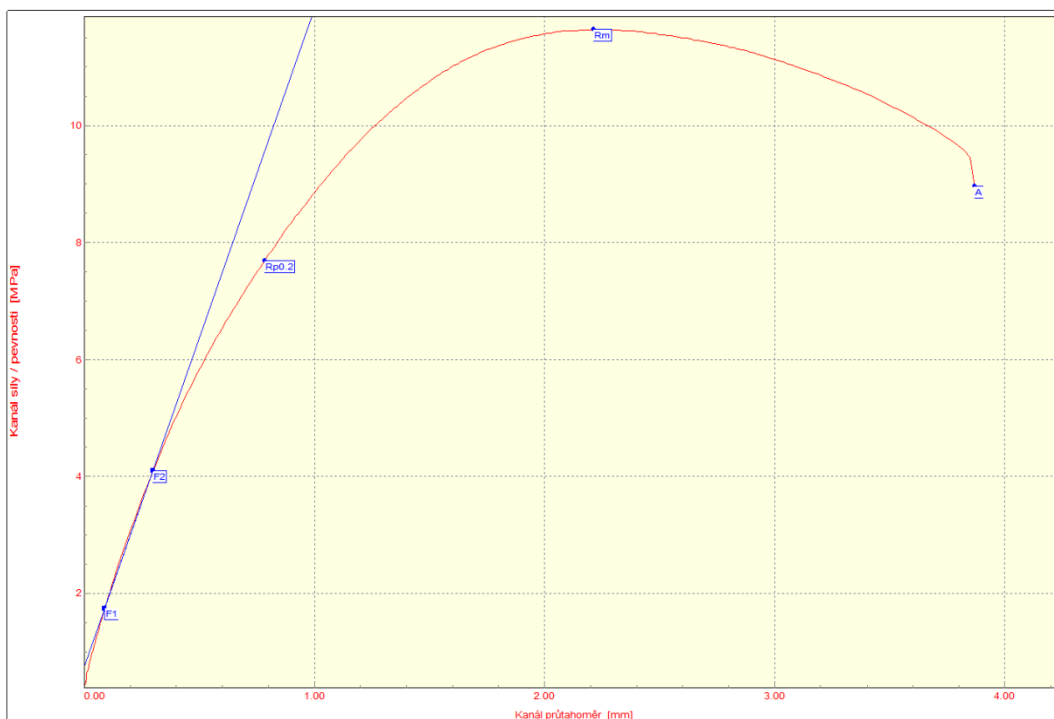
Testovaný materiál: : Loprefin bez dekoru
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100 mm/min
Směr odebrání vzorku : 90°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	621.80	11.64	3.92
2	635.20	11.87	3.54
3	525.20	10.10	3.55
4	658.90	12.31	4.87
5	595.00	11.24	3.77

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	607.22	11.43	3.93
Směrodatná odchylka	51.34	0.84	0.55
Minimální hodnota	525.20	10.10	3.54
Maximální hodnota	658.90	12.31	4.87





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

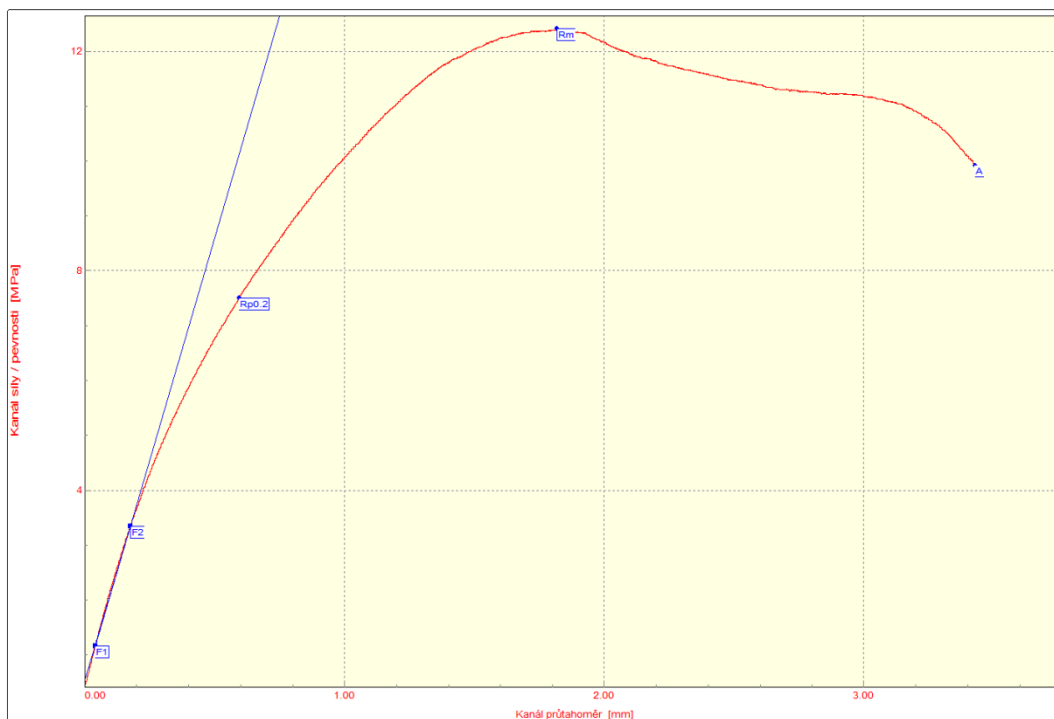
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1 mm/min
Směr odebrání vzorku : 0°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	658.70	12.41	3.56
2	636.20	11.89	3.55
3	630.50	11.80	3.63
4	681.80	12.99	3.25
5	656.70	12.52	3.61

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	652.78	12.32	3.52
Směrodatná odchylka	20.40	0.49	0.15
Minimální hodnota	630.50	11.80	3.25
Maximální hodnota	681.80	12.99	3.63





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50 mm/min

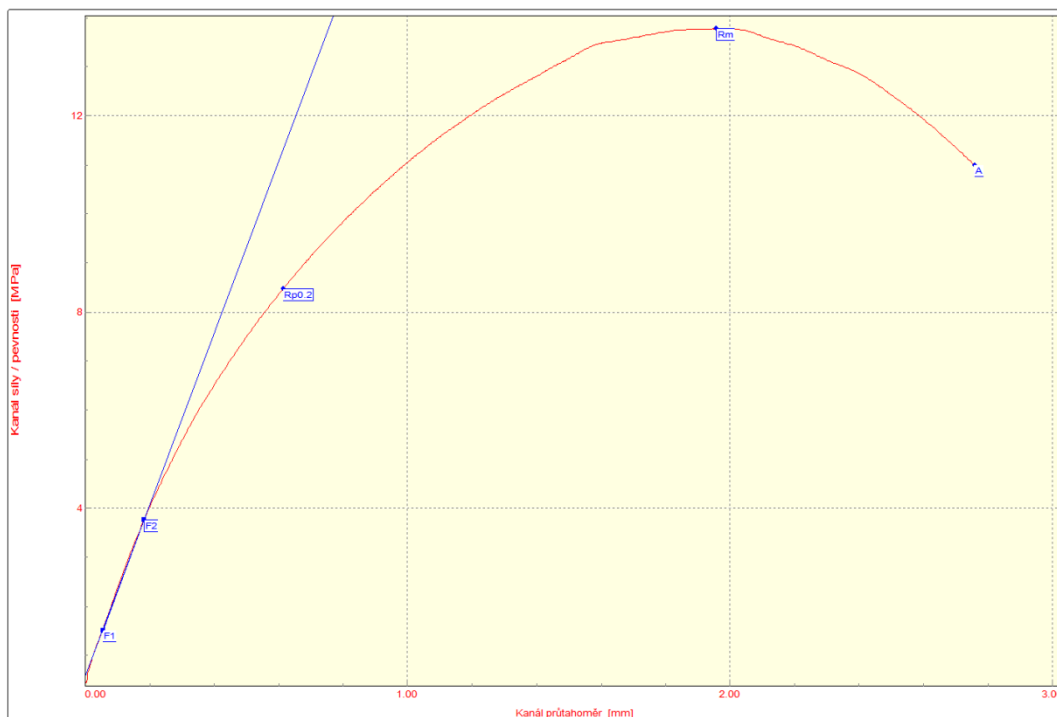
Směr odebrání vzorku : 0°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	744.90	13.77	2.70
2	715.50	13.23	3.50
3	761.90	14.25	3.82
4	859.00	15.75	3.63
5	839.50	14.55	3.16

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	784.16	14.31	3.36
Směrodatná odchylka	62.08	0.95	0.44
Minimální hodnota	715.50	13.23	2.70
Maximální hodnota	859.00	15.75	3.82





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

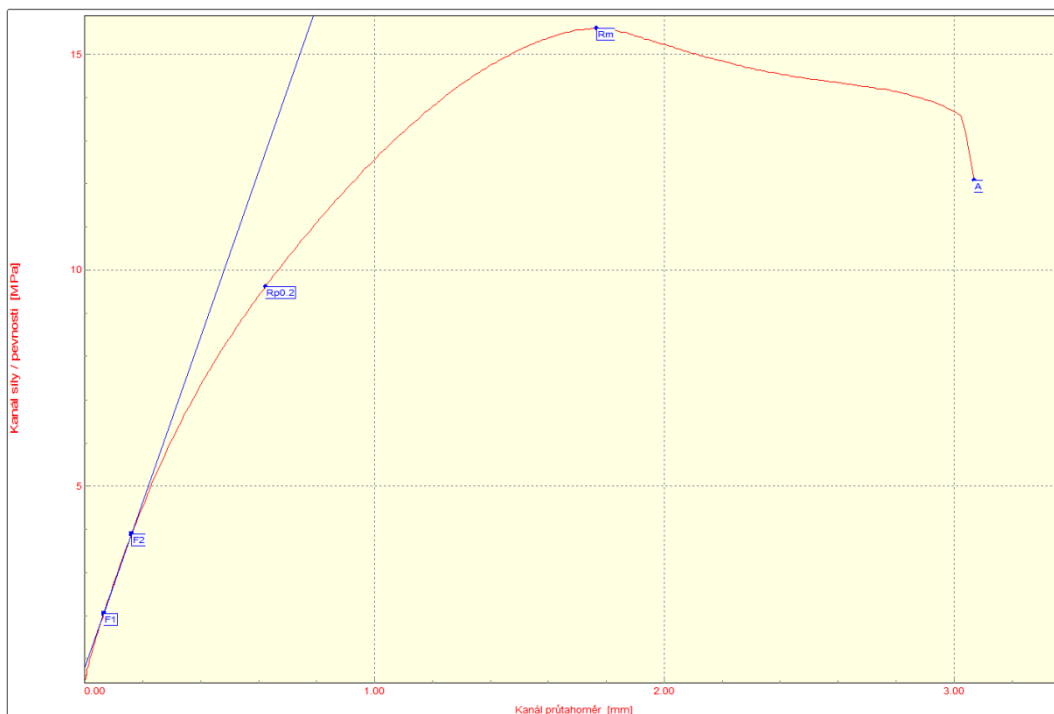
Směr odebrání vzorku : 0°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	769.20	14.40	2.40
2	795.60	15.65	3.44
3	918.80	15.70	3.07
4	853.10	17.18	2.07
5	780.90	15.60	3.10

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	823.52	15.71	2.82
Směrodatná odchylka	62.25	0.99	0.56
Minimální hodnota	769.20	14.40	2.07
Maximální hodnota	918.80	17.18	3.44





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

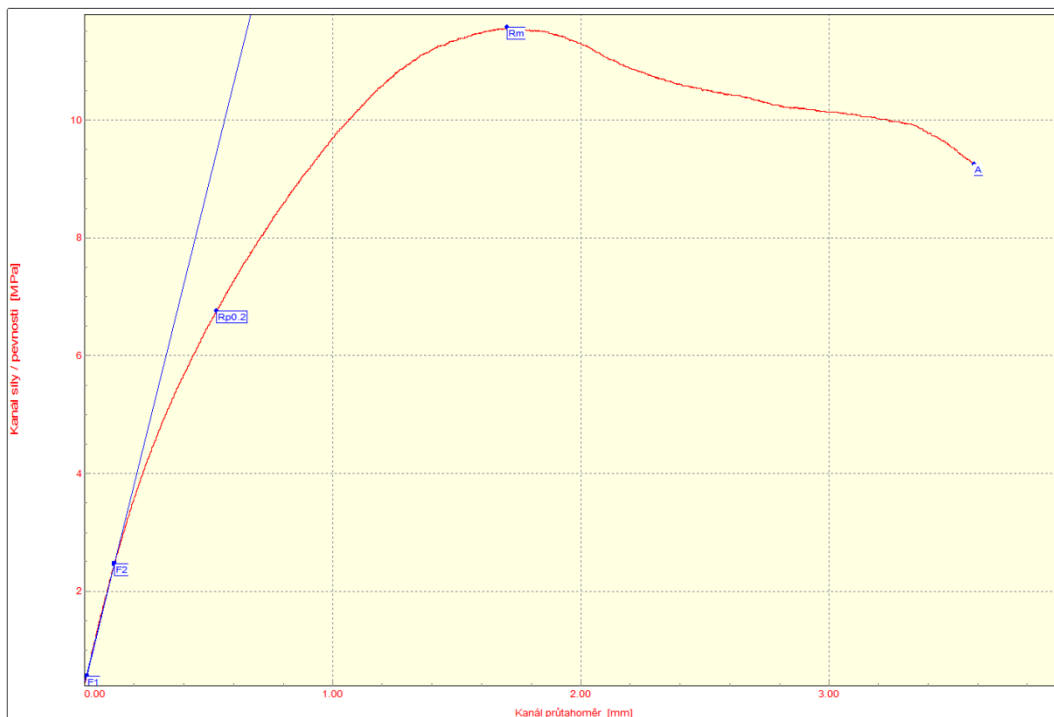
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min
Směr odebrání vzorku : 45°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	564.30	10.64	3.95
2	665.00	12.54	3.54
3	591.90	11.47	4.00
4	580.30	10.89	3.44
5	615.40	11.57	3.83

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	603.38	11.42	3.75
Směrodatná odchylka	39.16	0.74	0.25
Minimální hodnota	564.30	10.64	3.44
Maximální hodnota	665.00	12.54	4.00





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

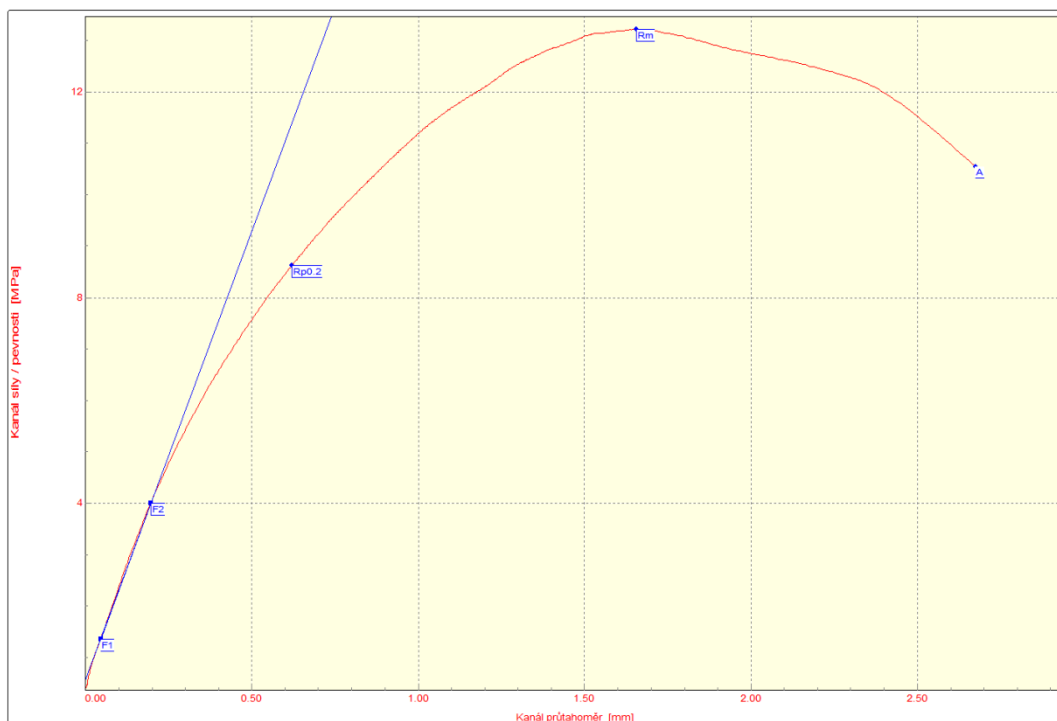
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min
Směr odebrání vzorku : 45°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	764.40	14.10	2.64
2	709.10	13.21	2.63
3	799.20	15.25	2.68
4	806.40	15.39	2.75
5	893.40	15.18	3.31

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	794.50	14.62	2.80
Směrodatná odchylka	67.35	0.94	0.29
Minimální hodnota	709.10	13.21	2.63
Maximální hodnota	893.40	15.39	3.31





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

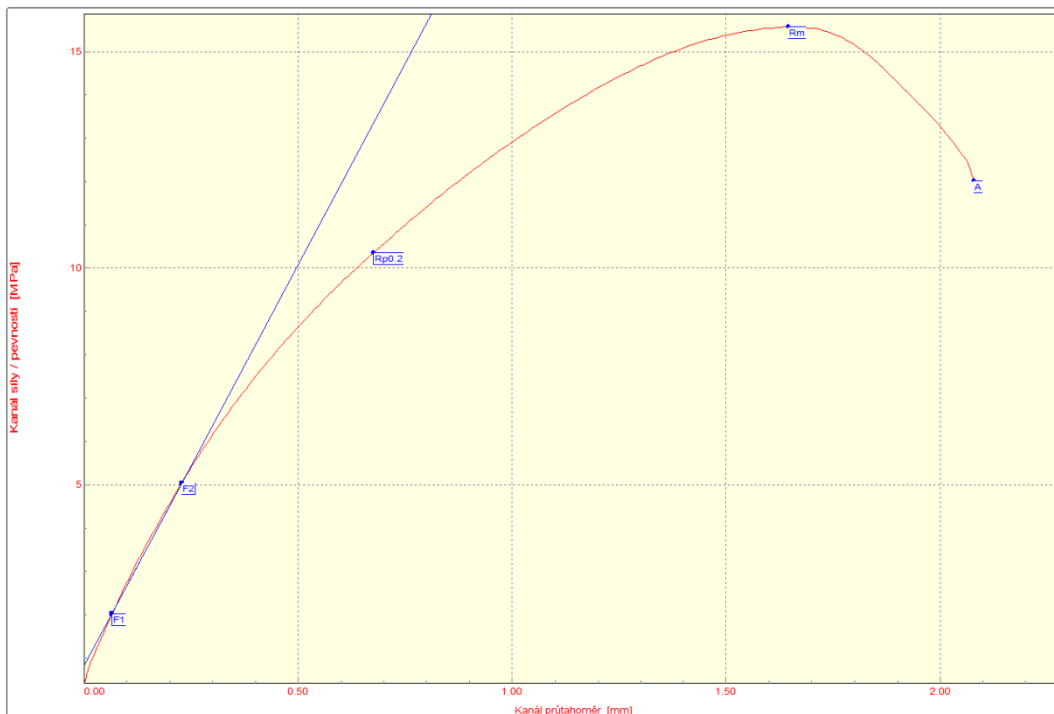
Směr odebrání vzorku : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	752.10	14.25	1.89
2	764.70	14.61	1.87
3	814.90	15.57	1.85
4	806.50	15.41	2.12
5	837.50	16.00	1.92

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	795.14	15.17	1.93
Směrodatná odchylka	35.68	0.72	0.11
Minimální hodnota	752.10	14.25	1.85
Maximální hodnota	837.50	16.00	2.12





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

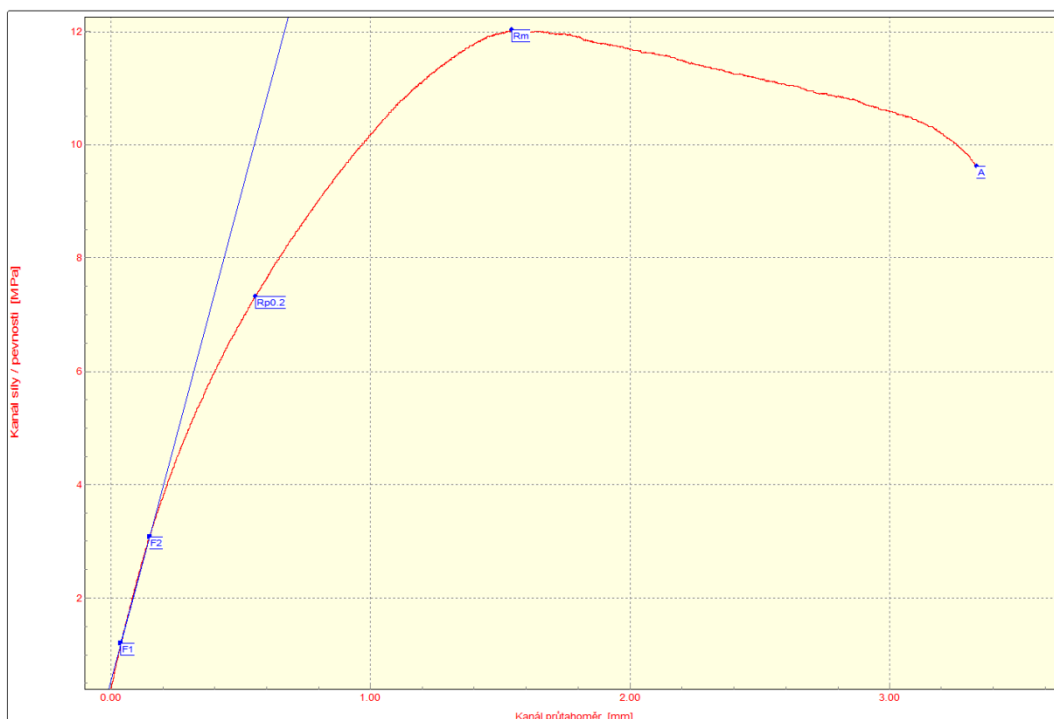
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min
Směr odebrání vzorku : 90°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	748.70	13.44	3.63
2	621.10	12.02	3.51
3	675.20	13.07	3.05
4	647.70	12.54	2.95
5	590.80	11.26	3.73

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	656.70	12.47	3.37
Směrodatná odchylka	60.20	0.86	0.35
Minimální hodnota	590.80	11.26	2.95
Maximální hodnota	748.70	13.44	3.73





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min

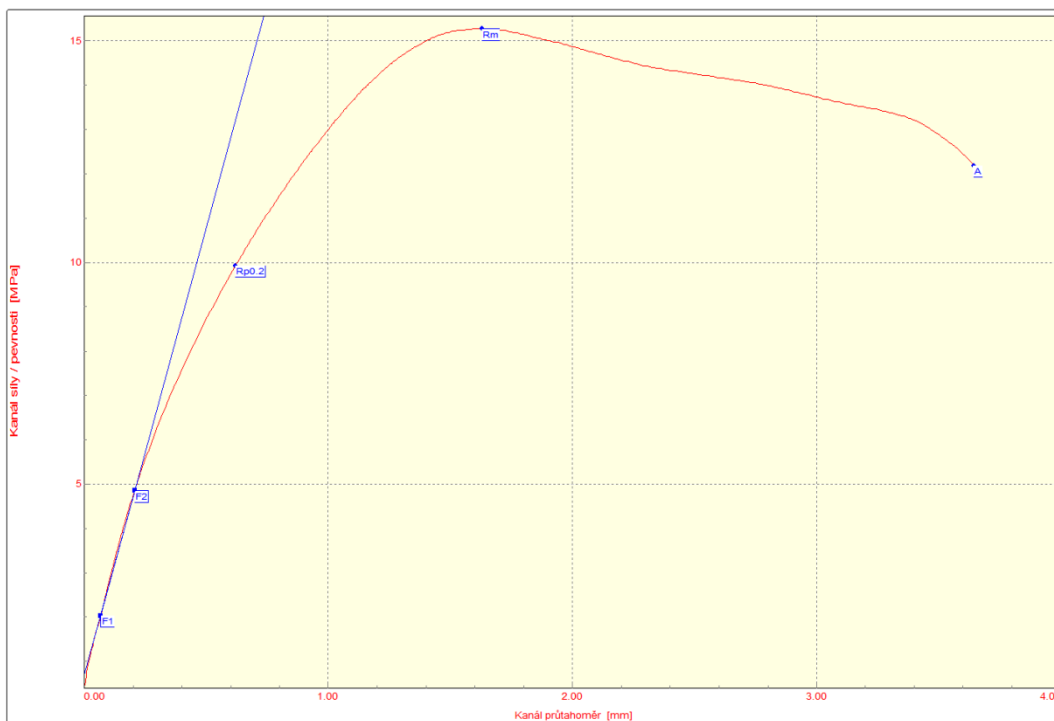
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	801.50	15.27	3.84
2	866.50	16.01	3.13
3	869.10	16.09	3.01
4	813.50	15.52	3.63
5	980.30	16.95	3.19

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	866.18	15.97	3.36
Směrodatná odchylka	70.69	0.65	0.36
Minimální hodnota	801.50	15.27	3.01
Maximální hodnota	980.30	16.95	3.84





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem II

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

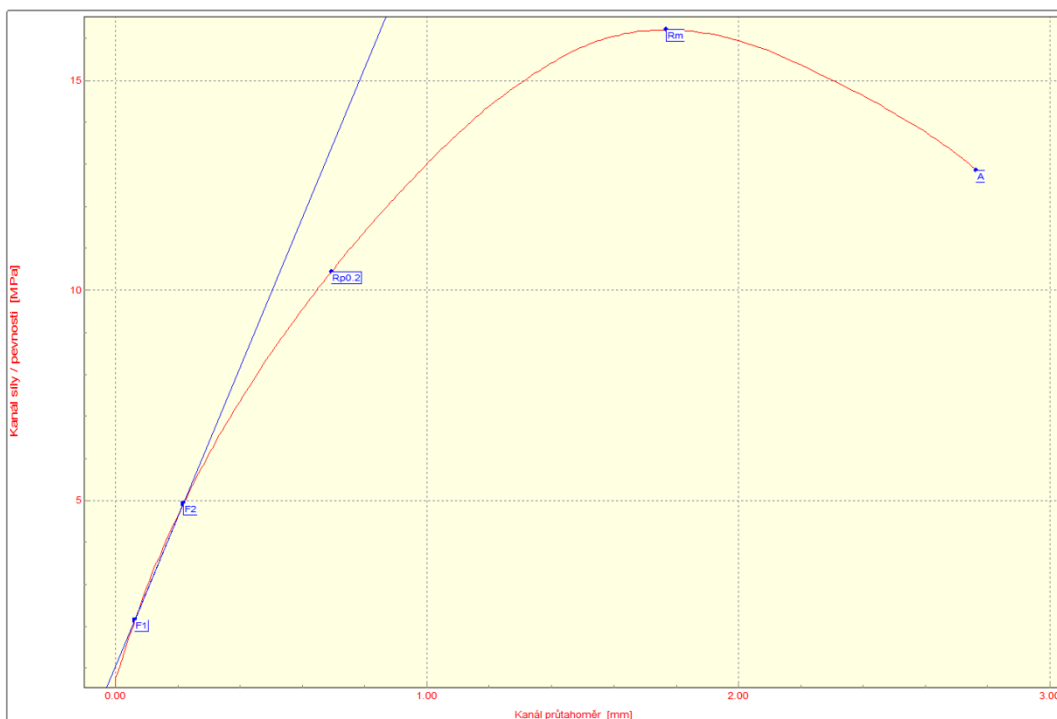
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	772.20	15.37	2.63
2	859.30	16.21	2.62
3	864.10	16.30	2.00
4	947.20	17.01	2.88
5	833.30	15.72	2.24

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	855.22	16.12	2.47
Směrodatná odchylka	63.10	0.62	0.35
Minimální hodnota	772.20	15.37	2.00
Maximální hodnota	947.20	17.01	2.88





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min

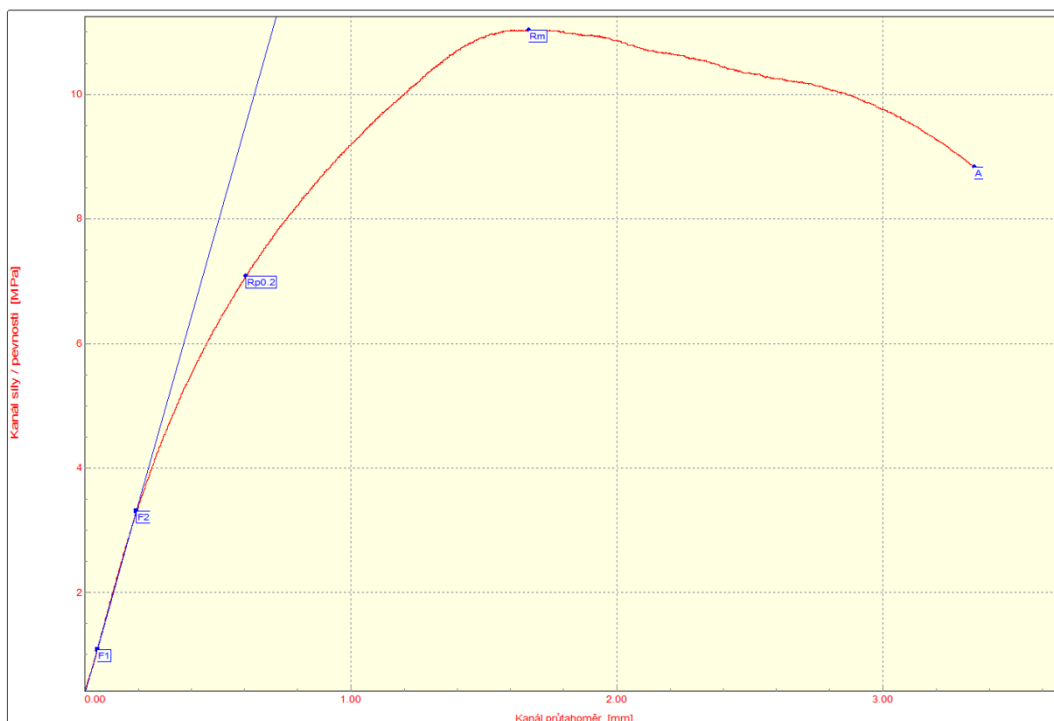
Směr odebrání vzorku : 0°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	735.80	12.75	2.88
2	556.70	10.79	3.12
3	602.00	11.04	3.48
4	635.90	11.46	3.63
5	716.00	12.47	3.12

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	649.28	11.70	3.24
Směrodatná odchylka	75.70	0.87	0.30
Minimální hodnota	556.70	10.79	2.88
Maximální hodnota	735.80	12.75	3.63





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min

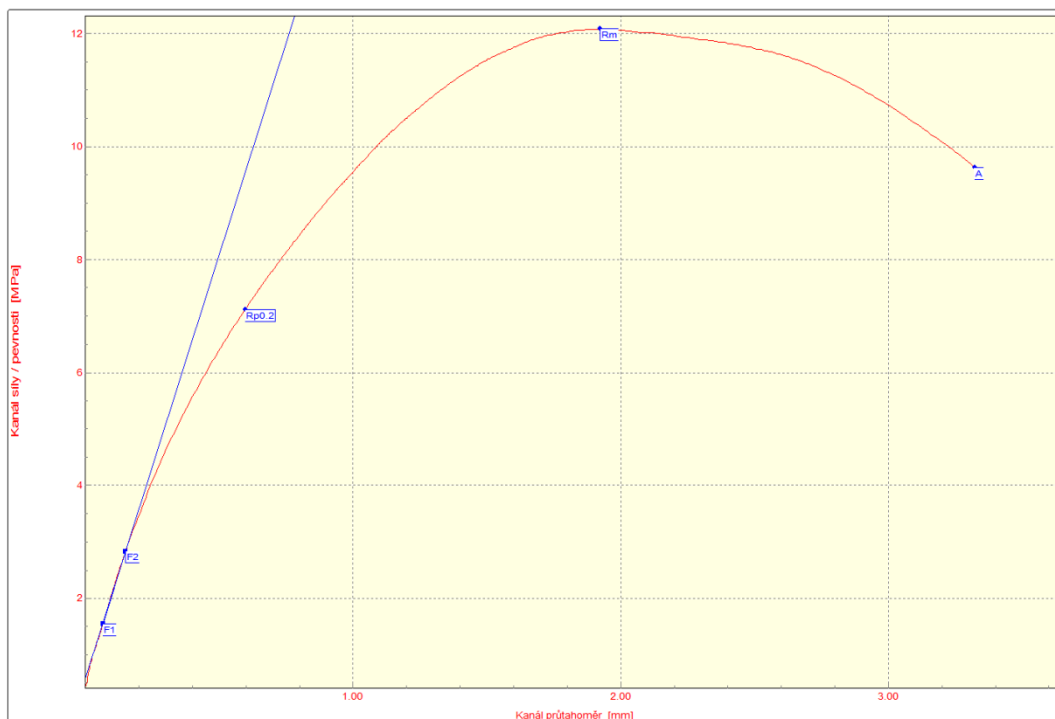
Směr odebrání vzorku : 0°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	670.10	12.22	2.39
2	718.60	12.08	3.40
3	797.40	13.41	2.97
4	884.80	14.62	3.06
5	665.50	12.73	2.76

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	747.28	13.01	2.92
Směrodatná odchylka	93.40	1.04	0.37
Minimální hodnota	665.50	12.08	2.39
Maximální hodnota	884.80	14.62	3.40





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

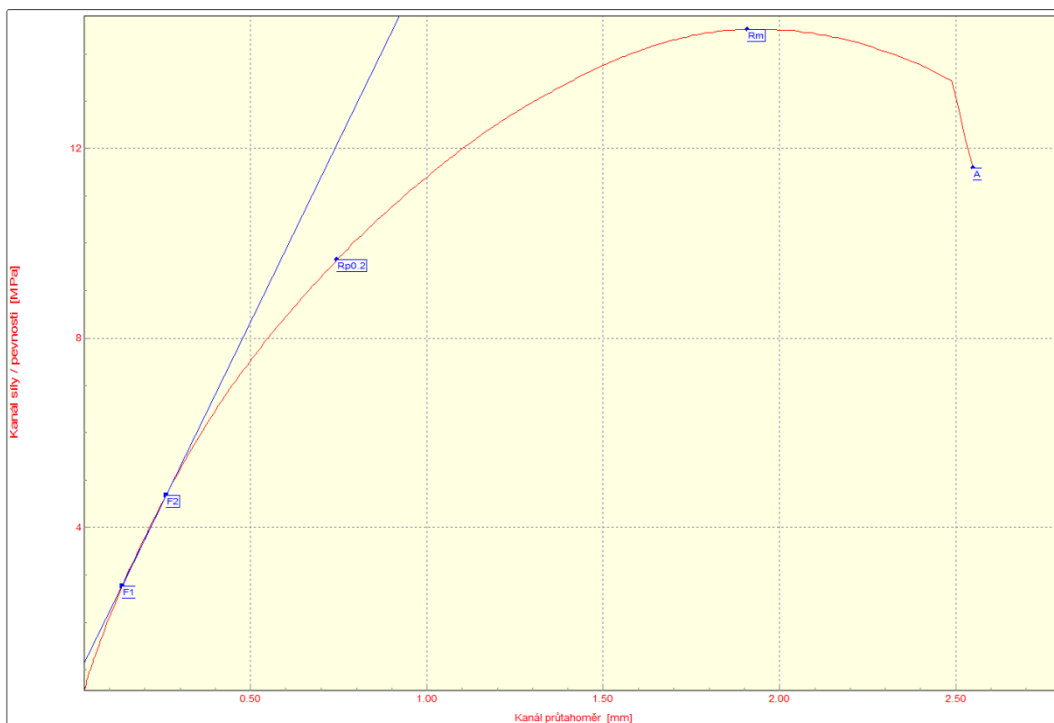
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min
Směr odebrání vzorku : 0°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	801.20	13.71	2.71
2	839.80	14.13	3.35
3	827.00	13.90	3.07
4	802.40	13.49	2.20
5	864.40	14.52	2.30

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	826.96	13.95	2.72
Směrodatná odchylka	26.61	0.40	0.49
Minimální hodnota	801.20	13.49	2.20
Maximální hodnota	864.40	14.52	3.35





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

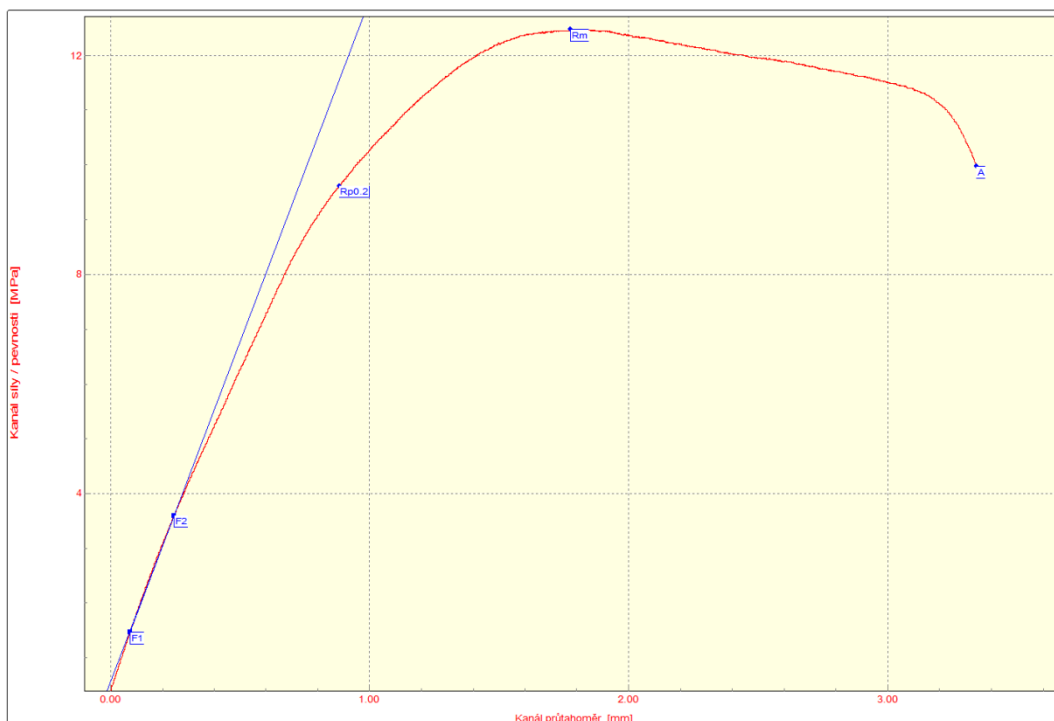
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min
Směr odebrání vzorku : 45°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	734.60	12.47	3.24
2	689.00	11.66	2.77
3	675.00	11.43	3.72
4	742.70	12.70	4.25
5	721.20	12.33	4.06

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	712.50	12.12	3.61
Směrodatná odchylka	29.30	0.55	0.60
Minimální hodnota	675.00	11.43	2.77
Maximální hodnota	742.70	12.70	4.25





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

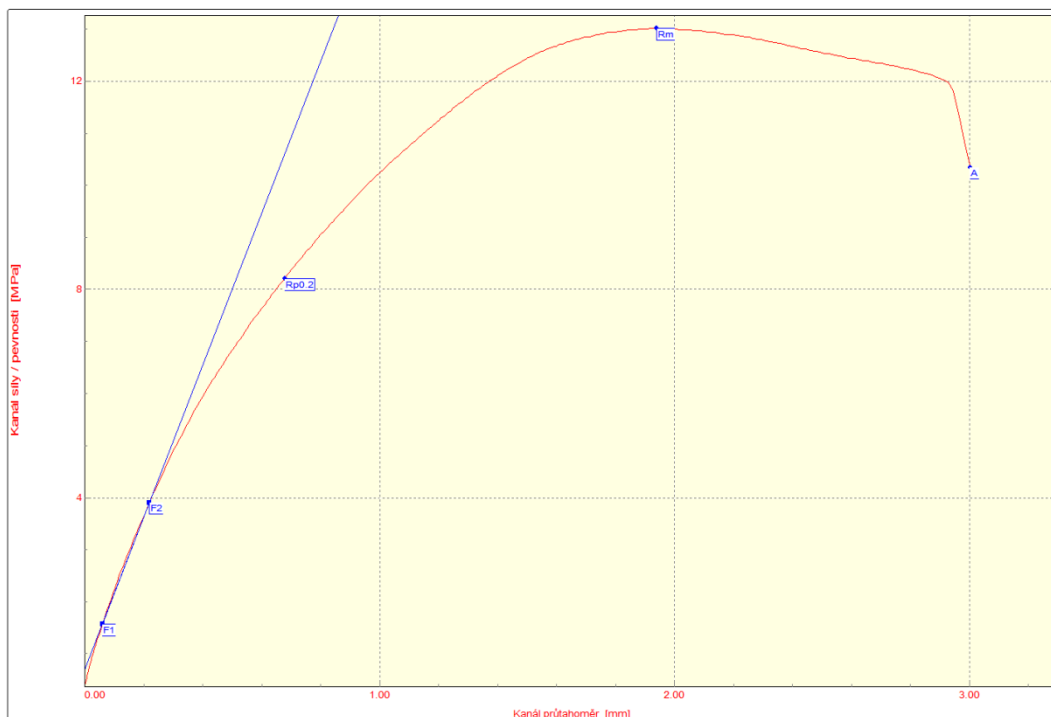
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min
Směr odebrání vzorku : 45°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	830.20	14.19	2.22
2	761.50	13.01	2.93
3	796.50	13.39	2.62
4	796.10	13.47	2.19
5	888.30	15.03	1.68

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	814.52	13.82	2.33
Směrodatná odchylka	47.87	0.80	0.47
Minimální hodnota	761.50	13.01	1.68
Maximální hodnota	888.30	15.03	2.93





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

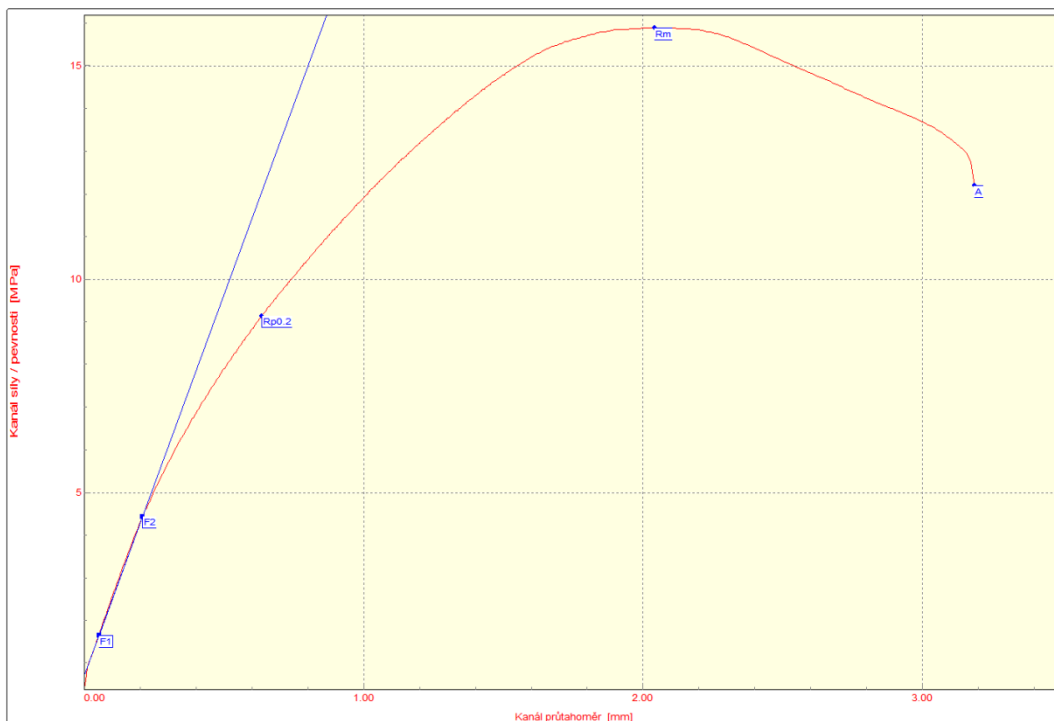
Směr odebrání vzorku : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	881.70	15.07	2.94
2	787.40	13.46	2.81
3	929.60	15.88	3.17
4	914.70	15.63	3.58
5	957.00	16.35	3.98

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	894.08	15.28	3.30
Směrodatná odchylka	65.54	1.12	0.48
Minimální hodnota	787.40	13.46	2.81
Maximální hodnota	957.00	16.35	3.98





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

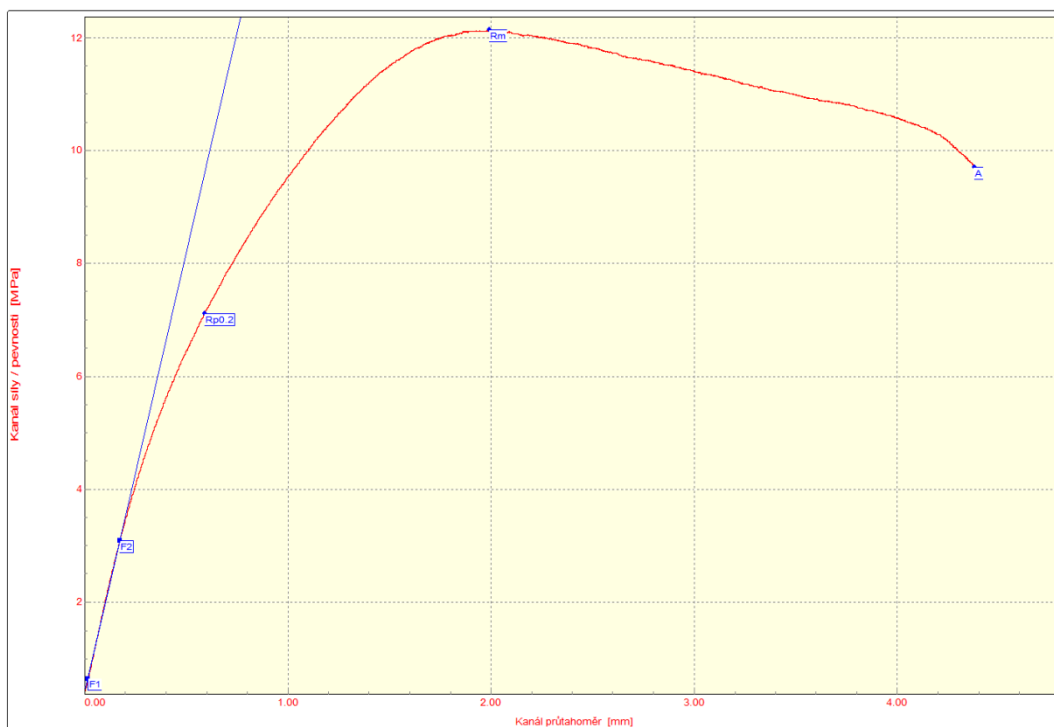
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min
Směr odebrání vzorku : 90°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	703.80	11.91	4.60
2	795.90	13.45	4.71
3	684.00	11.56	4.41
4	727.10	12.13	4.73
5	783.30	13.38	3.75

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	738.82	12.49	4.44
Směrodatná odchylka	49.00	0.87	0.41
Minimální hodnota	684.00	11.56	3.75
Maximální hodnota	795.90	13.45	4.73





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min

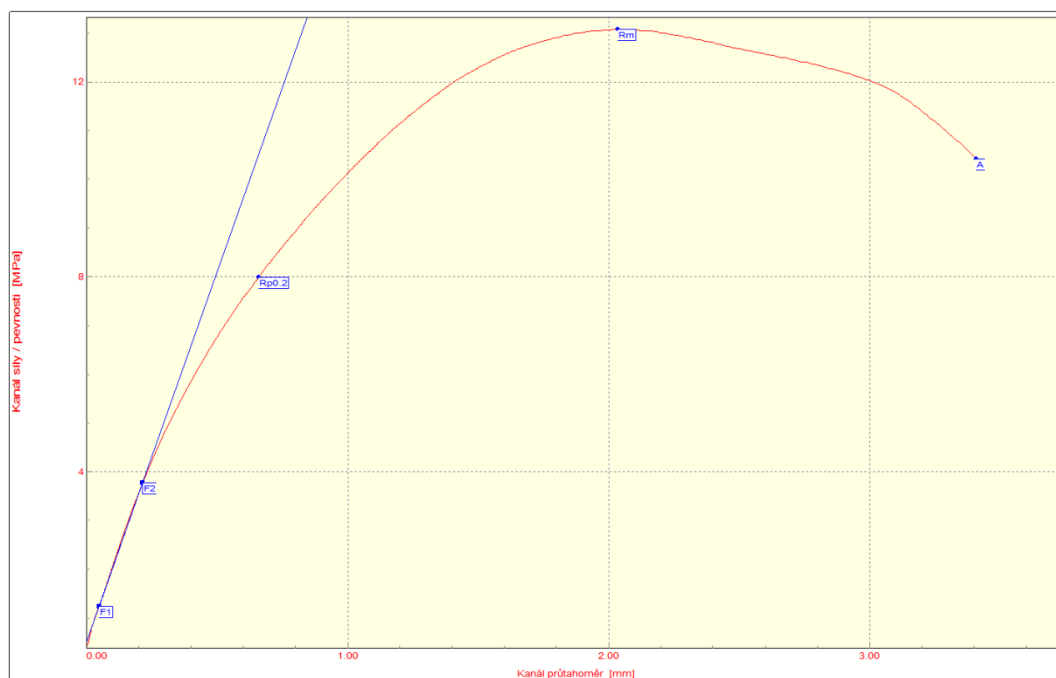
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	731.00	13.19	3.86
2	765.20	13.07	3.44
3	783.90	13.39	3.06
4	873.20	14.91	2.91
5	881.70	14.56	2.62

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	806.98	13.82	3.18
Směrodatná odchylka	67.13	0.85	0.48
Minimální hodnota	731.00	13.07	2.62
Maximální hodnota	881.70	14.91	3.86





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem III

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

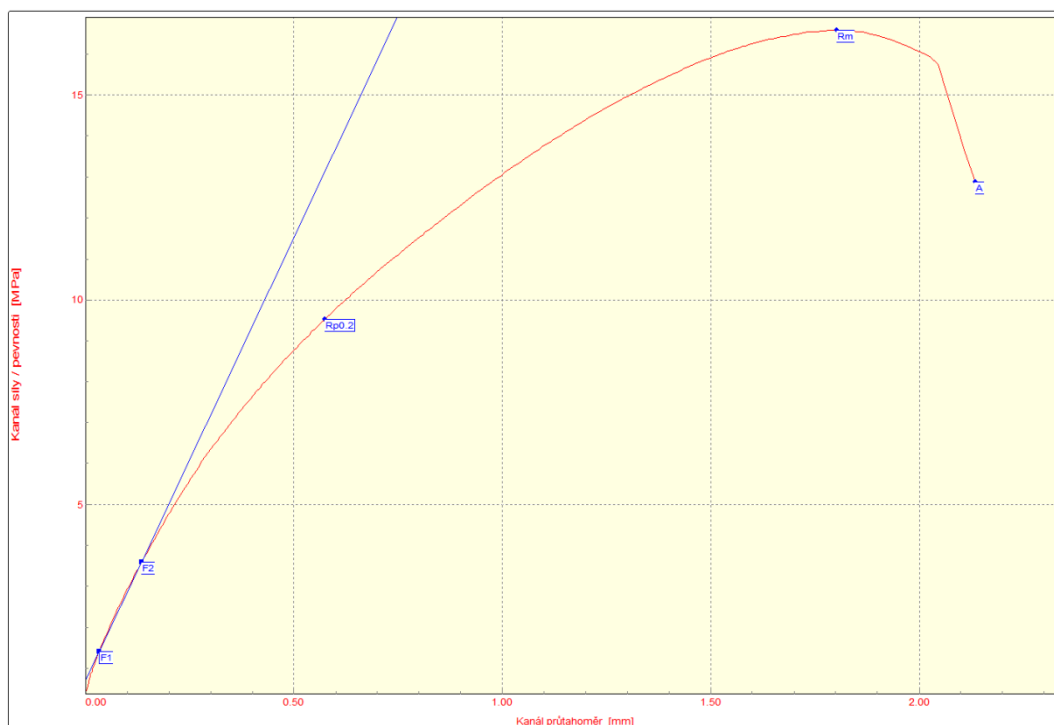
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	830.80	14.19	1.38
2	966.50	16.51	1.70
3	743.80	14.23	2.50
4	831.50	14.46	2.38
5	980.80	16.58	1.96

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	870.68	15.19	1.99
Směrodatná odchylka	100.66	1.24	0.47
Minimální hodnota	743.80	14.19	1.38
Maximální hodnota	980.80	16.58	2.50





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

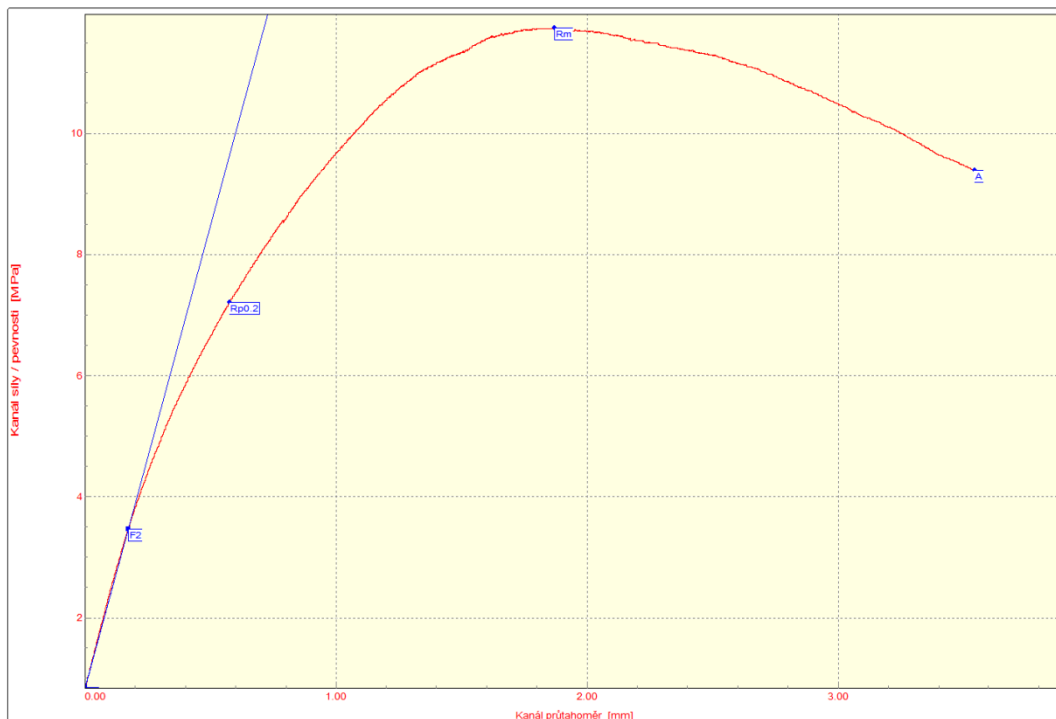
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min
Směr odebrání vzorku : 0°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	730.70	13.40	4.53
2	694.80	12.74	5.40
3	640.30	11.74	3.73
4	596.20	10.36	4.75
5	638.20	11.09	4.12

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	660.04	11.86	4.51
Směrodatná odchylka	52.78	1.23	0.63
Minimální hodnota	596.20	10.36	3.73
Maximální hodnota	730.70	13.40	5.40





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

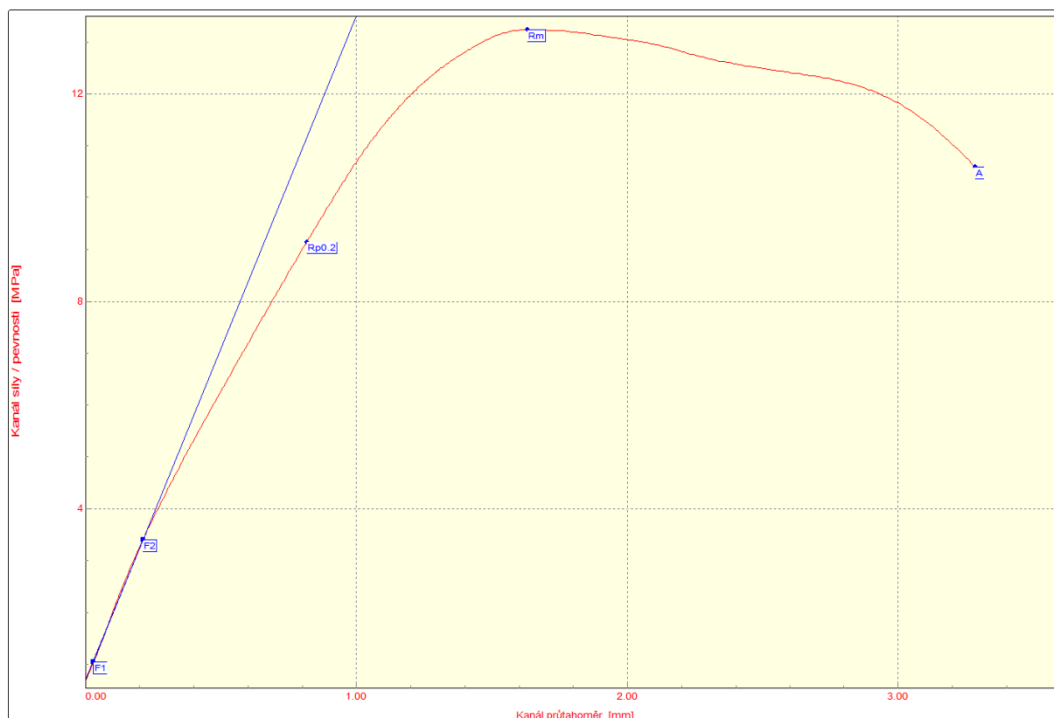
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min
Směr odebrání vzorku : 0°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	722.50	13.25	3.15
2	764.90	14.02	2.77
3	825.40	15.14	2.72
4	748.70	14.33	3.00
5	715.50	13.66	3.77

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	755.40	14.08	3.08
Směrodatná odchylka	43.90	0.72	0.42
Minimální hodnota	715.50	13.25	2.72
Maximální hodnota	825.40	15.14	3.77





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

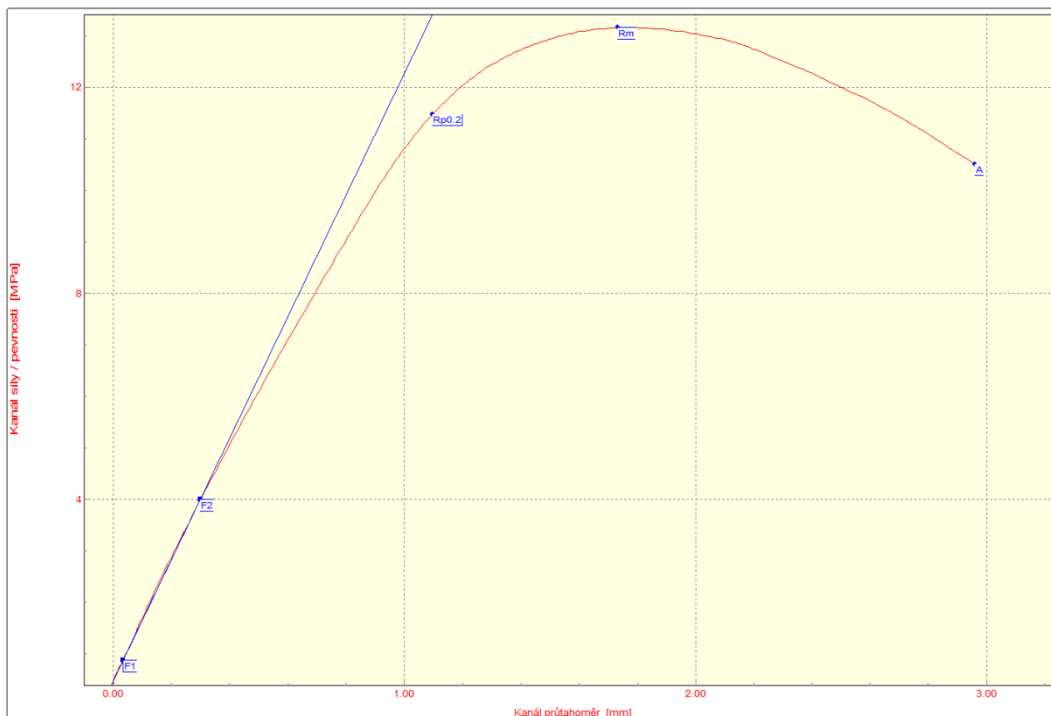
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min
Směr odebrání vzorku : 0°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	860.00	15.79	3.16
2	816.20	14.98	2.96
3	717.10	13.16	2.64
4	734.60	13.78	2.89
5	716.00	12.44	3.06

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	768.78	14.03	2.94
Směrodatná odchylka	65.56	1.36	0.20
Minimální hodnota	716.00	12.44	2.64
Maximální hodnota	860.00	15.79	3.16





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min

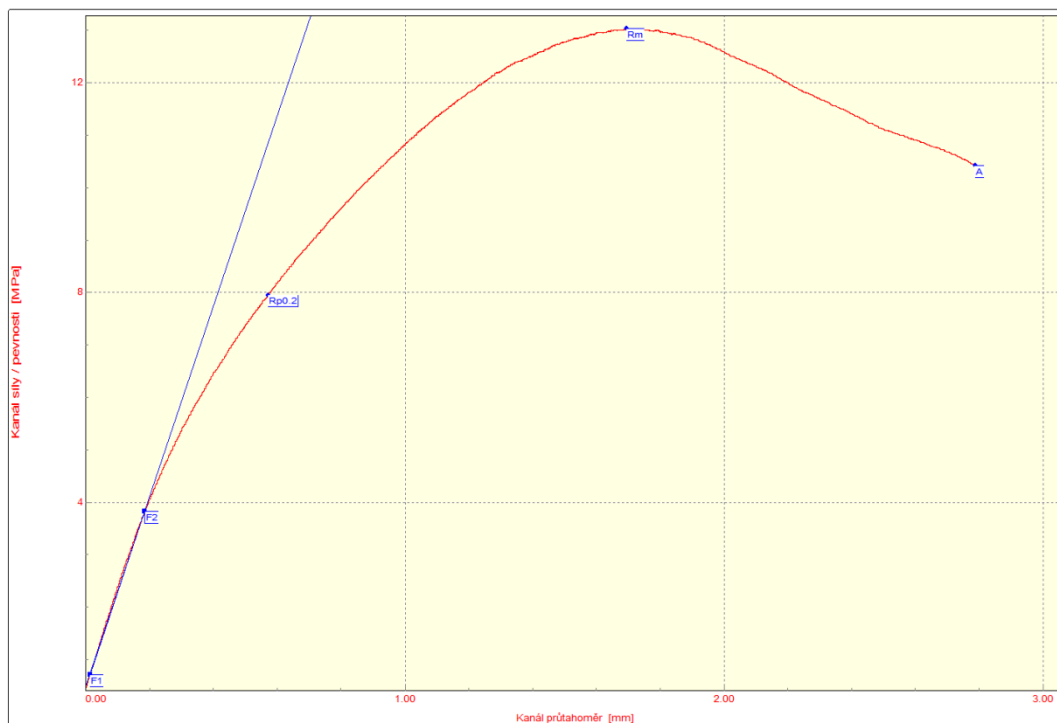
Směr odebrání vzorku : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	678.00	12.44	3.77
2	645.10	10.96	4.26
3	709.60	13.02	2.80
4	643.30	11.85	3.75
5	655.60	12.56	3.50

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	666.32	12.17	3.62
Směrodatná odchylka	27.86	0.79	0.53
Minimální hodnota	643.30	10.96	2.80
Maximální hodnota	709.60	13.02	4.26





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

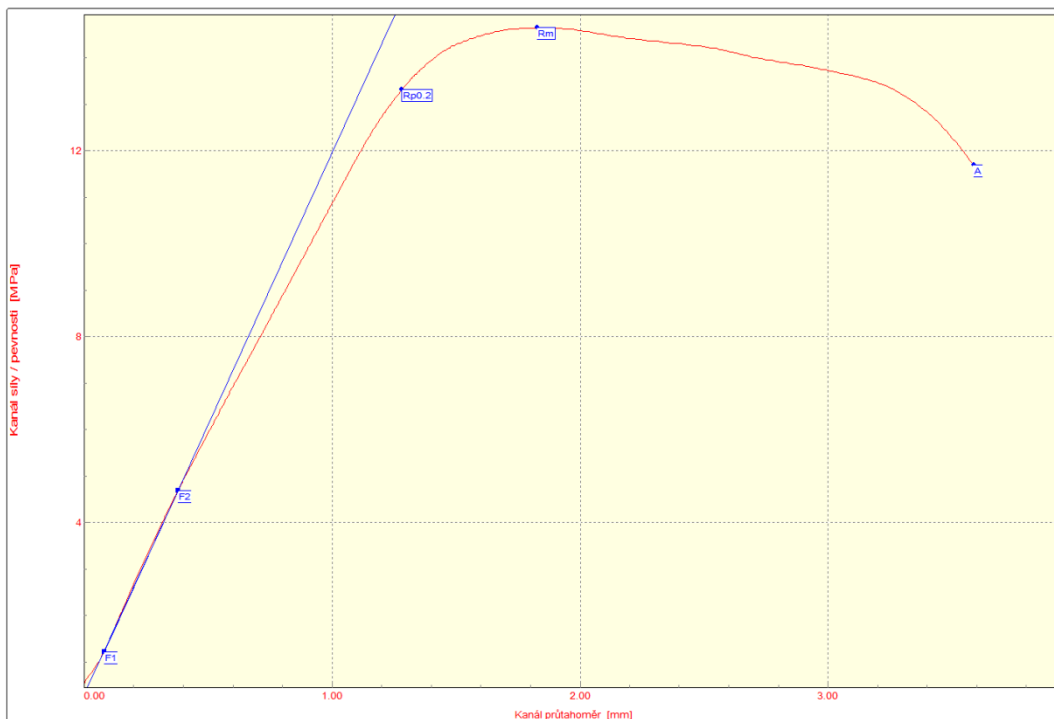
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min
Směr odebrání vzorku : 45°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	836.10	15.35	3.01
2	792.60	14.66	3.26
3	701.30	13.47	2.99
4	742.70	14.21	3.50
5	795.90	13.82	3.18

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	773.72	14.30	3.19
Směrodatná odchylka	52.31	0.73	0.21
Minimální hodnota	701.30	13.47	2.99
Maximální hodnota	836.10	15.35	3.50





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

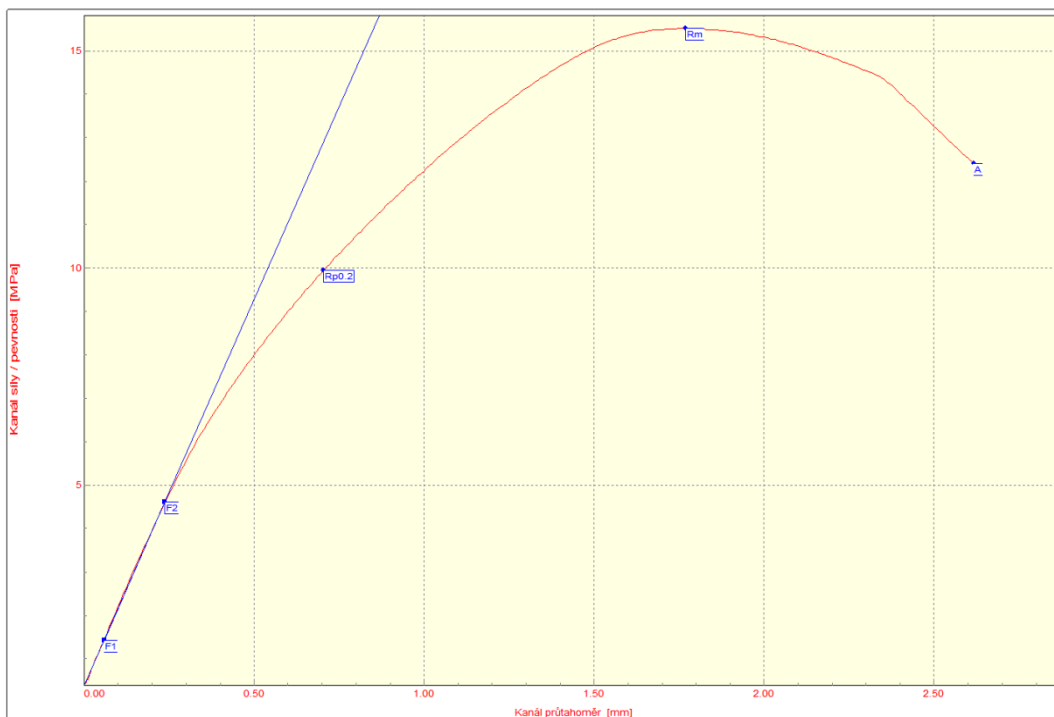
Směr odebrání vzorku: : 45°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	839.10	15.52	2.42
2	770.60	14.25	2.69
3	836.30	15.46	2.55
4	839.80	14.39	2.50
5	783.80	13.86	2.65

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	813.92	14.69	2.56
Směrodatná odchylka	33.87	0.75	0.11
Minimální hodnota	770.60	13.86	2.42
Maximální hodnota	839.80	15.52	2.69





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů
Katedra strojírenské technologie
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

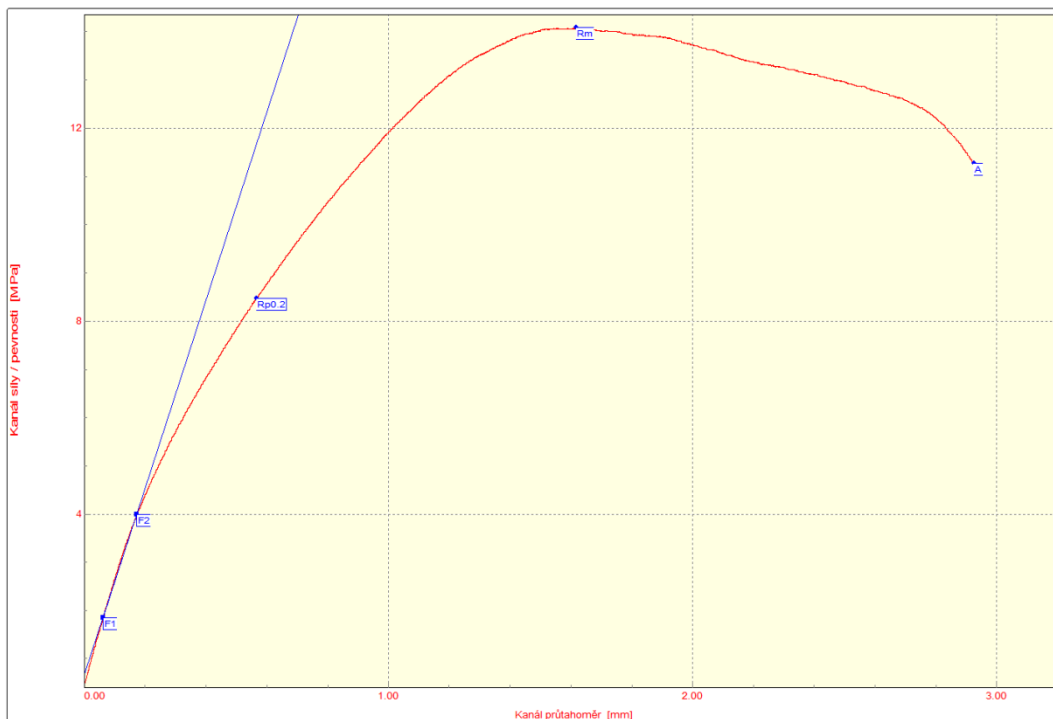
Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV
Norma: : ČSN EN ISO 527
Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 1mm/min
Směr odebrání vzorku : 90°
Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	705.30	13.03	2.94
2	761.30	14.08	2.97
3	729.10	13.49	3.63
4	715.50	12.13	3.37
5	761.90	12.92	3.25

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	734.62	13.13	3.23
Směrodatná odchylka	26.04	0.72	0.29
Minimální hodnota	705.30	12.13	2.94
Maximální hodnota	761.90	14.08	3.63





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 50mm/min

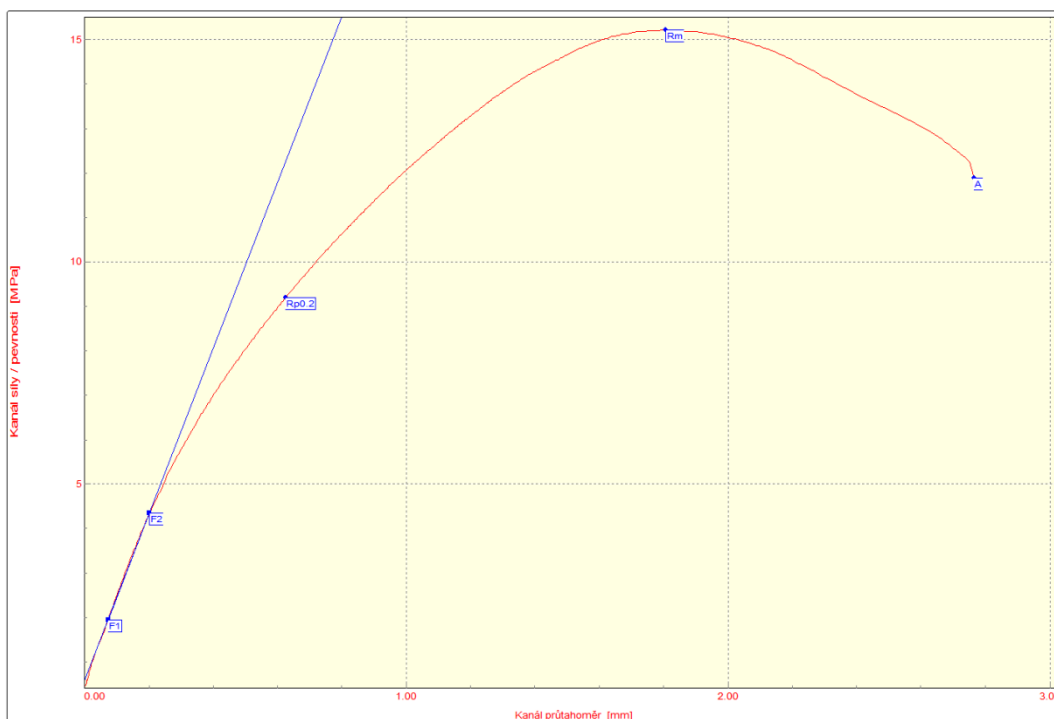
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Fm N	Rm MPa	A %
1	982.60	17.67	2.43
2	798.20	15.21	2.70
3	825.30	15.73	3.21
4	827.00	14.22	2.89
5	864.40	16.54	3.25

Statistická hodnota	Fm N	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	859.50	15.87	2.89
Směrodatná odchylka	72.73	1.31	0.35
Minimální hodnota	798.20	14.22	2.43
Maximální hodnota	982.60	17.67	3.25





STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Loprefin s dekorem IV

Norma: : ČSN EN ISO 527

Vypracoval: : Michal Gajdošík

Rychlost zatěžování: : 100mm/min

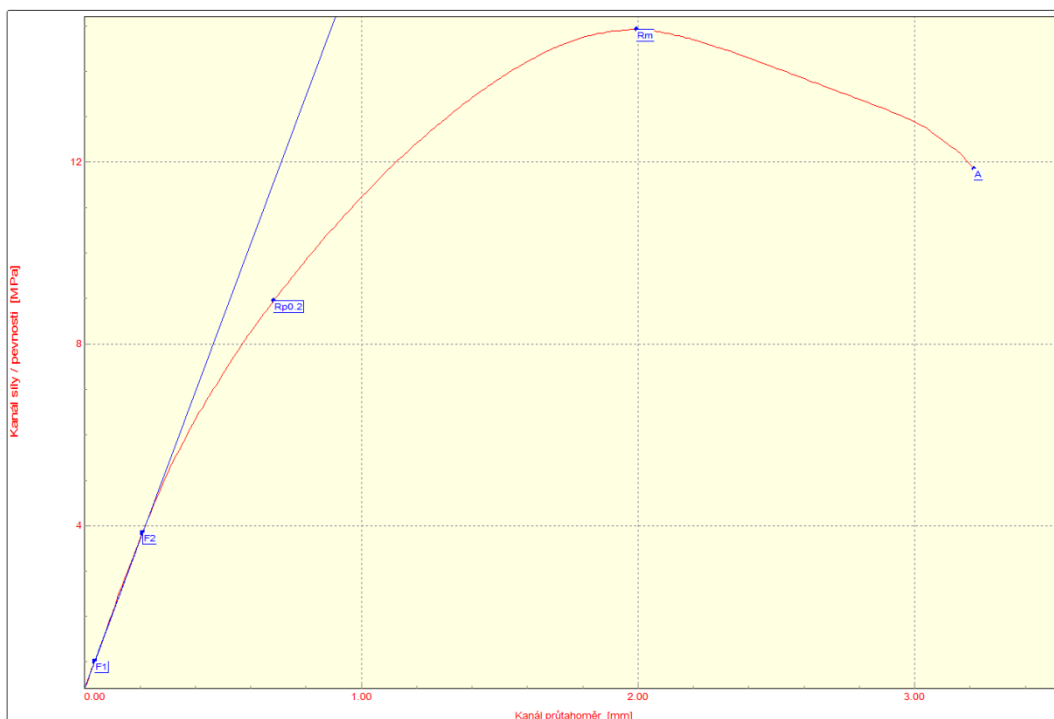
Směr odebrání vzorku : 90°

Datum zkoušky: : 26.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	R _m MPa	A %
1	874.90	16.11	2.75
2	828.30	15.22	2.65
3	811.90	14.92	3.14
4	830.20	15.89	2.62
5	864.40	14.86	2.69

Statistická hodnota	F _m N	R _m MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	841.94	15.40	2.77
Směrodatná odchylka	26.54	0.57	0.21
Minimální hodnota	811.90	14.86	2.62
Maximální hodnota	874.90	16.11	3.14



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, 5. 6. 2009

.....

Michal Gajdošík

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec, 5th June 2009

.....

Michal Gajdošík